



⑯ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



**DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑬ **DE 199 02 336 A 1**

5) Int. Cl. 6:  
**G 02 B 13/24**  
G 03 F 7/20  
H 01 L 21/027

21) Aktenzeichen: 199 02 336.0  
22) Anmeldetag: 21. 1. 99  
23) Offenlegungstag: 29. 7. 99

→ 99069P

⑩ Unionspriorität:  
10-024043 22. 01. 98 JP

⑪ Anmelder:  
Nikon Corp. (Intellectual Property Headquarters)  
Tokio/Tokyo, JP

⑫ Vertreter:  
Viering, Jentschura & Partner, 80538 München

⑦2 Erfinder:  
Shigematsu, Koji, Tokio/Tokyo, JP

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

54 Optisches Projektionssystem und dieses verwendende Belichtungsvorrichtung und Belichtungsverfahren

55 Optisches Projektionssystem und dieses verwendende Belichtungsvorrichtung und Belichtungsverfahren, wobei das optische Projektionssystem eine erste Linsengruppe mit positiver Brechkraft, eine zweite Linsengruppe mit negativer Brechkraft, eine dritte Linsengruppe mit positiver Brechkraft, eine vierte Linsengruppe mit negativer Brechkraft und wenigstens einer asphärischen Oberfläche und eine fünfte Linsengruppe mit positiver Brechkraft, einer Aperturbegrenzungsvorrichtung und wenigstens einer dritten asphärische Oberfläche aufweist, die von der Aperturbegrenzungsvorrichtung aus gesehen bildseitig angeordnet ist. Das optische Projektionssystem ist derart aufgebaut, daß paraxiale Strahlen, die parallel zur optischen Achse von Bild zum Objekt hin verlaufen, die optische Achse an einem Ort zwischen der vierten Linsengruppe und der fünften Linsengruppe schneiden. Ferner weist die vierte oder die fünfte Linsengruppe wenigstens eine asphärische Oberfläche auf, die zwischen der ersten asphärischen Oberfläche in der vierten Linsengruppe und der Aperturbegrenzungsvorrichtung angeordnet ist. Das optische Projektionssystem erfüllt wenigstens eine Anzahl von Konstruktionsbedingungen.

DE 19902336 A1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein optisches Projektionssystem und eine Belichtungsvorrichtung unter Verwendung derselben sowie ein Belichtungsverfahren und insbesondere Systeme, Vorrichtungen und Verfahren zum Herstellen von Bauteilen und Bauelementen, wie integrierten Schaltkreisen, Flüssigkristallanzeigen, Detektoren (CCD – Charged Couple Devices), Magnetköpfen usw.

Für die Herstellung von z. B. Halbleiterbauteilen werden zur Zeit Step-and-Repeat-Belichtungsvorrichtungen sowie Step-and-Scan-Belichtungsvorrichtungen verwendet. Bei Step-and-Repeat-Belichtungsvorrichtungen (Stepper) wird jedes Belichtungsfeld während einer einzigen statischen Belichtung belichtet. Bei Step-and-Scan-Projektionsvorrichtungen (Scannern) wird jedes Belichtungsfeld während der Belichtung überstrichen (gescannt). Eine für die Herstellung von Halbleiterbauelementen verwendete Projektionsbelichtungsvorrichtung überträgt z. B. das Bild einer Struktur auf einer als Maske verwendeten optischen Platte durch ein optisches Projektionssystem hindurch auf einen Wafer (oder z. B. eine Glasplatte als Arbeitsstück) der mit einem lichtempfindlichen Material, wie einem Fotolack, beschichtet ist. Mit immer steigender Miniaturisierung der Strukturen für integrierte Halbleiterschaltkreise mußte das Auflösungsvermögen der für 10 Halbleiterbelichtungsvorrichtungen verwendeten optischen Projektionssysteme immer weiter verbessert werden. Das Auflösungsvermögen eines optischen Projektionssystems kann dadurch verbessert werden, daß entweder die Belichtungswellenlänge verkleinert wird oder die bildseitige numerische Apertur (NA) vergrößert wird.

Die für Projektionsvorrichtungen für die Herstellung von Halbleiterbauteilen verwendeten Wellenlänge sind im wesentlichen die g-Linie ( $\lambda=436$  nm) bis zur i-Linie ( $\lambda=365$  nm) der Quecksilberdampflampe. In letzter Zeit wurden Anstrengungen unternommen, kürzere Wellenlängen, z. B. die von Excimer-Lasern ( $\lambda=248$  nm, 193 nm), zu verwenden. Dieser Entwicklung entsprechend wurden optischen Projektionssysteme entwickelt, mit denen Licht mit kurzen Wellenlängen übertragen werden können.

Zusätzlich zu dem Erfordernis einer höheren Auflösung wurde es erforderlich, die Bildfehler des optischen Projektionssystems zu verringern. Diese Bildfehler röhren von verschiedenen Faktoren her, wie Fehlern aufgrund des optischen Projektionssystems selbst, Fehlern aufgrund von Verwerfungen des Wafers, der mit einer Schaltkreisstruktur bedruckt werden soll, und Fehlern aufgrund von Verwerfungen der optischen Platte, die die Vorlage für die zu druckende Schaltkreisstruktur trägt.

Um die von Verwerfungen des Wafers herrührenden Bildfehler zu verringern, sind bildseitig telezentrische optische Projektionssysteme entwickelt worden. Bei solchen Systemen ist die Blende objektseitig quasi im Unendlichen angeordnet. Ferner sind objektseitig telezentrische optische Systeme entwickelt worden, bei denen die Eingangsbленde des optischen Projektionssystems objektseitig quasi im Unendlichen angeordnet ist. Solche optischen Projektionssysteme sind z. B. aus der japanischen Patentanmeldung Nr. Sho 63-118115, dem US.Patent Nr. 5,260,832 und den japanischen Patentanmeldungen Hei 4-157412 sowie Hei 5-173065 bekannt.

Ferner war es erforderlich, die numerische Apertur derart zu wählen und einzustellen, daß diese besser dazu geeignet ist, um bestimmte auf die optische Platte aufgebrachte Strukturtypen zu drucken und bestimmten Herstellungsbedingungen gerecht zu werden. Insbesondere war es erforderlich, daß die in Belichtungsvorrichtungen verwendeten optischen Projektionssysteme eine variable Aperturbegrenzungsvorrichtung aufweisen, deren Größe verändert werden kann, um die numerische Apertur des optischen Projektionssystems zu verändern.

Falls die Mehrzahl der in dem optischen Projektionssystem verwendeten Linsenflächen asphärisch hergestellt sind, ist es möglich, die Anzahl der zu verwendenden Linsen zu verringern. Beispiele für solche Projektionssysteme sind z. B. aus dem US-Patent Nr. 4,928,238 und den japanischen Patentanmeldungen Nr. Hei 5-34593 und Nr. Hei 7-128592 bekannt.

Wie oben beschrieben, wird es bevorzugt, daß das optische Projektionssystem sowohl bildseitig als auch objektseitig telezentrisch ist, um Bildverzerrungen aufgrund von Verwerfungen des Wafers bzw. der optischen Platte zu verringern. Deshalb wurden, wie aus den o. g. Patenten bzw. Patentanmeldungen bekannt, optische Projektionssysteme entwickelt, die sowohl im Objektbereich als auch im Bildbereich telezentrisch sind, sogenannte doppeltelezentrische optische Projektionssysteme. Bei herkömmlichen doppeltelezentrischen optischen Projektionssystemen ist es jedoch schwierig, eine ausreichend große numerische Apertur herzustellen, während gleichzeitig nur geringe Bildfehler auftreten. Insbesondere ist bei den herkömmlichen Systemen die Verzerrungskorrektur schlecht.

Ferner treten bei den herkömmlichen optischen Projektionssystemen, falls eine variable Aperturbegrenzungsvorrichtung verwendet wird, um die numerische Apertur des optischen Projektionssystems zu verändern, aufgrund von sphärischen Abberationen an der Blende im Randbereich des Belichtungsfeldes Bildfehler (Vignettierungen) auf. Daher ist die Belichtung im Randbereich des Belichtungsfeldes ungleichmäßig. Zusätzlich fällt die Telezentrität, wenn die numerische Apertur verändert wird, und ferner besteht ein Problem derart, daß die Größe des Belichtungsfeldes nicht vergrößert werden kann.

Bei den optischen Projektionssystemen mit asphärischen Oberflächen, wie aus den oben genannten Patenten bzw. Patentanmeldungen bekannt, werden asphärische Oberflächen zum Verringern der Gesamtglasdicke des optischen Systems und zur Verbesserung der Transmission verwendet. Dies führt jedoch nicht zu optischen Projektionssystemen mit großen Belichtungsbereichen und einer ausreichend großen numerischen Apertur.

Es ist die Aufgabe der Erfindung, ein kompaktes optisches Hochleistungsprojektionssystem bereitzustellen, das doppeltelezentrisch ist und eine Aperturbegrenzungsvorrichtung aufweist, mit der die Vignettierungseffekte verringert werden, wenn die numerische Apertur (NA) verändert wird. Es ist ferner die Aufgabe der Erfindung, ein optisches Projektionssystem bereitzustellen, mit dem die verschiedenen Abberationen, insbesondere Verzerrungen, sehr gut korrigiert werden können, während aufgrund der Verwendung von asphärischen Linsenoberflächen eine ausreichend große numerische Apertur und ein großes Belichtungsfeld erzielt werden. Es ist ferner die Aufgabe der Erfindung, eine optische Belichtungsvorrichtung bereitzustellen, das das oben genannte optische Projektionssystem aufweist, sowie ein Herstellungsverfahren für Halbleiterbauteile unter Verwendung dieser Belichtungsvorrichtung bereitzustellen.

Gemäß einem ersten Gesichtspunkt der Erfindung wird ein optisches Projektionssystem bereitgestellt, mit dem ein

7

1

Bild eines Objektes erzeugt werden kann. Das System weist entlang seiner optischen Achse vom Objekt zum Bild hin gesehen eine erste Linsengruppe mit positiver Brechkraft, eine zweite Linsengruppe mit negativer Brechkraft, eine dritte Linsengruppe mit positiver Brechkraft, eine vierte Linsengruppe mit negativer Brechkraft und einer ersten asphärischen Oberfläche, und eine fünfte Linsengruppe mit positiver Brechkraft, einer Aperturbegrenzungsvorrichtung und einer dritten asphärischen Oberfläche auf, die von der Aperturbegrenzungsvorrichtung gesehen bildseitig angeordnet ist. Das optische Projektionssystem ist derart aufgebaut, daß parallel zur optischen Achse in das optische Projektionssystem eintretende und vom Bild zum Objekt hin verlaufende Strahlen die optische Achse an einem Ort Q zwischen der vierten Linsengruppe und der fünften Linsengruppe schneiden. Ferner weist entweder die vierte Linsengruppe oder die fünfte Linsengruppe eine zweite asphärische Oberfläche auf, die zwischen der ersten asphärischen Oberfläche in der fünften Linsengruppe und der Aperturbegrenzungsvorrichtung angeordnet ist. Ferner wird die folgende Bedingung erfüllt:

5

10

$$0,01 < d_Q / (L \times (1-NA)) < 0,4, \quad (1)$$

wobei das Bild und das Objekt voneinander im Abstand L angeordnet sind, der Abstand zwischen dem Ort Q und der Aperturbegrenzungsvorrichtung  $d_Q$  beträgt, und NA die bildseitige numerische Apertur der Projektionslinse ist.

15  
~~7~~

Gemäß einem zweiten Gesichtspunkt der Erfindung wird das oben beschriebene optische Projektionssystem bereitgestellt, bei dem die Aperturbegrenzungsvorrichtung eine veränderbare Größe aufweist und von dem Ort Q aus gesehen bildseitig angeordnet ist, so daß die Vignettierungseffekte minimiert werden, wenn die veränderbare Größe verändert wird.

20

Gemäß einem dritten Gesichtspunkt der Erfindung wird das oben beschriebene optische Projektionssystem bereitgestellt, das wenigstens eine der folgenden Bedingungen erfüllt:

$$0,05 < f1/L < 0,5 \quad (2)$$

25

$$0,02 < -f2/L < 0,2 \quad (3)$$

$$0,04 < f3/L < 0,4 \quad (4)$$

$$0,03 < -f4/L < 0,3 \quad (5)$$

30

$$0,04 < f5/L < 0,04, \quad (6)$$

wobei  $f1$  bis  $f5$  jeweils die Brennweiten der ersten bis fünften Linsengruppe sind.

35

Gemäß einem vierten Gesichtspunkt der Erfindung wird eine Belichtungsvorrichtung zum Übertragen eines auf einer optischen Platte aufgebrachten Musters auf ein lichtempfindliches Arbeitsstück bereitgestellt. Die Vorrichtung weist eine Plattenhalterung zum Halten der optischen Platte, ein optisches Belichtungssystem im Anschluß an die Plattenhalterung zum Belichten der optischen Platte, eine Arbeitsstückhalterung zum Halten eines Arbeitsstücks und das oben beschriebene optische Projektionssystem auf, das zwischen der Plattenhalterung und der Arbeitsstückhalterung vorgesehen ist.

40

Gemäß einem fünften Gesichtspunkt der Erfindung wird ein Verfahren zum Strukturieren eines lichtempfindlichen Arbeitsstücks mithilfe eines auf einer optischen Platte aufgebrachten Musters bereitgestellt. Das Verfahren weist folgende Schritte auf: Belichten der optischen Platte, Projizieren von Licht von der optischen Platte mithilfe des oben beschriebenen optischen Projektionssystems und Belichten des lichtempfindlichen Arbeitsstücks über das Belichtungsfeld hinweg.

45

Gemäß einem sechsten Gesichtspunkt der Erfindung wird ein Herstellungsverfahren für Bauteile bereitgestellt, das folgende Schritte aufweist: Aufbringen eines lichtempfindlichen Materials auf ein Substrat, Projizieren des Bildes eines auf einer optischen Platte aufgebrachten Musters durch das oben beschriebene Projektionssystem hindurch auf das Substrat, und Entwickeln des lichtempfindlichen Materials auf dem Substrat, wodurch eine Fotolackstruktur gebildet wird.

In der Zeichnung zeigen:

Fig. 1 schematisch ein optisches Projektionssystem gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung;

Fig. 2 schematisch das optische Projektionssystem gemäß dem Arbeitsbeispiel 1 der Erfindung;

Fig. 3A-3D Auftragungen der sphärischen Aberration des Astigmatismus, der Verzerrung bzw. der Koma für das aus Fig. 2 ersichtliche optische Projektionssystem;

50

Fig. 4 schematisch das optische Projektionssystem gemäß dem Arbeitsbeispiel 2 der Erfindung;

Fig. 5A-5D Auftragungen der sphärischen Aberrationen, des Astigmatismus, der Verzerrung bzw. der Koma für das aus Fig. 4 ersichtliche optische Projektionssystem;

55

Fig. 6 schematisch das optische Projektionssystem gemäß dem Arbeitsbeispiel 3 der Erfindung;

Fig. 7A-7D Auftragungen der sphärischen Aberration, des Astigmatismus, der Verzerrung bzw. der Koma für das aus Fig. 6 ersichtliche optische Projektionssystem;

60

Fig. 8 schematisch das optische Projektionssystem gemäß dem Arbeitsbeispiel 4 der Erfindung;

Fig. 9A-9D Auftragungen der sphärischen Aberration, des Astigmatismus, der Verzerrung bzw. der Koma für das aus Fig. 8 ersichtliche optische Projektionssystem; und

65

Fig. 10 ein Ablaufdiagramm eines Herstellungsverfahrens für ein Halbleiterbauteil gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung unter Verwendung der Belichtungsvorrichtung und des optischen Projektionssystems gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung.

Wie aus Fig. 1 ersichtlich, weist die Belichtungsvorrichtung 10 ein optisches Projektionssystem PL mit einer Objekt ebene 12, einer Bildebene 14 und einer Aperturbegrenzungsvorrichtung AS auf, die auf der optischen Achse A angeordnet ist. Das optische Projektionssystem PL ist im wesentlichen doppeltelezentrisch. Die Aperturbegrenzungsvorrichtung AS ist variabel und in der Nähe der Blendenposition angeordnet. Ein Objekt, wie eine optische Platte R, ist in der Objekt ebene 12 oder in deren Nähe 12 vorgesehen. Das Objekt (Maske, optische Platte oder Original R) ist typischerweise

ein transparentes Substrat aus z. B. Quarzglas und weist Miniaturstrukturen (d. h. Strukturen im Mikrometer- bzw. Sub-Mikrometerbereich) auf. Das Objekt (optische Platte) R wird von der Objekthalterung RS gehalten und in eine Position in der Objektebene 12 oder in deren Nähe gebracht. Neben dem Objekt R auf der optischen Achse A gegenüber der Projektionslinse PL ist ein optisches Beleuchtungssystem IS vorgesehen. Diese weist eine Lichtquelle (nicht gezeigt) zum Erzeugen eines Lichtstrahls L auf. Beispiele für solche Lichtquellen sind: KrF-Excimer-Laser mit einer Wellenlänge von 248,4 nm, ArF-Laser mit einer Wellenlänge von 193 nm, F<sub>2</sub>-Laser mit einer Wellenlänge von 157 nm, die höheren Harmonischen eines Festkörperlasers (z. B. eines YAG-Lasers) mit einer Wellenlänge von z. B. 248 nm, 193 nm oder 157 nm oder die verschiedenen Linien der Quecksilberdampflampe, d. h. die g-Linie, die h-Linie oder die i-Linie, wie oben beschrieben. Ferner können die höheren Harmonischen verwendet werden, die aus DFB-Halbleiterlasern (Distributed Feedback) in UV-Licht mithilfe von nichtlinearen optischen Kristallen umgewandelt werden (z. B. können, wenn der Wellenlängenbereich des monochromatischen Lasers auf 1,51 bis 1,59 Mikrometer eingestellt wird, die achte Harmonische mit einem Wellenlängenbereich von 189 nm bis 199 nm oder die zehnte Harmonische mit einem Wellenbereich von 151 nm bis 159 nm erzielt werden). Wenn der Wellenlängenbereich des monochromatischen Lasers auf 1,544 bis 1,553 Mikrometer eingestellt wird, kann ein Wellenlängenbereich von 193 nm bis 194 nm erzielt werden (d. h. der gleiche, wie beim ArP-Excimer-Laser). Wenn der Wellenlängenbereich des monochromatischen Lasers auf 1,57 bis 1,58 Mikrometer eingestellt wird, kann die zehnte Harmonische mit einem Wellenlängenbereich von 157 nm bis 158 nm (d. h. der gleiche, wie beim F<sub>2</sub>-Laser) erzielt werden.

Das Beleuchtungssystem IS kann auch eine Beleuchtungssystemaperturbegrenzungsvorrichtung, eine Facettenlinse (d. h. einen optischen Integrator) eine variable Feldbegrenzungsvorrichtung (blinde optische Platte) und ein Kondensatortolinsensystem aufweisen (alle in Fig. 1 nicht gezeigt).

Das optische Beleuchtungssystem IS ist derart aufgebaut, daß die optische Platte R gleichmäßig beleuchtet wird und ein Bild der Lichtquelle am Ort der Aperturbegrenzung AS erzielt wird, wenn das Objekt (optische Platte) R entfernt wird (d. h. Kohler-Beleuchtung). Ein Arbeitsstück W, wie ein Siliziumwafer, der mit einem Fotolack beschichtet ist, ist auf der optischen Achse A in der Bildebene 14 oder in deren Nähe vorgesehen. Das Arbeitsstück (Wafer) W wird von einer Arbeitsstückhalterung (Waferhalterung) WF gehalten und in Position gebracht.

Um das Arbeitsstück (Wafer) W mit der Belichtungsvorrichtung 10 zu strukturieren, werden das Objekt R und das Arbeitsstück W in eine geeignete Ausrichtung unter Verwendung der Objekthalterung RS bzw. der Arbeitsstückhalterung WS gebracht. Das Objekt R wird dann mithilfe des optischen Beleuchtungssystems IS für eine bestimmte Zeitspanne beleuchtet. Ein Bild der Struktur auf dem Objekt wird auf das Arbeitsstück W über ein Belichtungsfeld EF hinweg mittels der Projektionslinse PL projiziert. Die Arbeitsstückhalterung WS wird dann um einen geringen Betrag weiterbewegt und eine nächste Belichtung wird auf dem Arbeitsstück W ausgeführt. Dieses Verfahren wird wiederholt, bis ein gewünschter Bereich des Arbeitsstücks W belichtet wurde. Die Belichtungsvorrichtung 10 und die entsprechenden Verfahren werden im folgenden detailliert erläutert.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung sind die Plattenhalterung RS und die Arbeitsstückhalterung WS entlang der Scan-Richtung (z. B. der X-Richtung) bewegbar, und das Belichtungsfeld EF weist eine erste Abmessung senkrecht zur Scan-Richtung (z. B. die Y-Richtung) und eine zweite Abmessung entlang der Scan-Richtung auf. Vorzugsweise ist die erste Abmessung größer als die zweite Abmessung. Die erste Abmessung beträgt vorzugsweise wenigstens etwa 25 mm. Es ist bevorzugt, daß die erste Abmessung wenigstens 15 mm in dem Fall beträgt, in dem das Belichtungsfeld trapezförmig, sechseckig oder diamantförmig ist oder z. B. die Form eines Parallelogramms aufweist. Entsprechende Belichtungsverfahren sind aus den US-Patenten Nr. 5,437,946; 5,477,304 und 5,617,182 bekannt.

Unter Bezugnahme auf Fig. 2 wird das optische Projektionssystem 20 gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung als Arbeitsbeispiel 1 der Erfindung erläutert. Das optische Projektionssystem 20 weist in einer Reihenfolge von der optischen Platte R (d. h. der Objektebene OP) zum Arbeitsstück (Wafer) W (d. h. der Bildebene IP) hin, d. h. vom Objekt zum Bild hin, eine erste Linsengruppe G1 mit positiver Brechkraft, eine zweite Linsengruppe G2 mit negativer Brechkraft, eine dritte Linsengruppe G3 mit positiver Brechkraft, eine vierte Linsengruppe G4 mit negativer Brechkraft und eine fünfte Linsengruppe G5 mit positiver Brechkraft auf.

Das optische Projektionssystem 20 ist doppeltelezentrisch und derart aufgebaut, daß es bei einer festen Wellenlänge oder in einem engen Wellenlängenbereich arbeitet (z. B.  $\lambda=248,4$  nm). Der Ort Q, an dem parallel zur optischen Achse in das optische Projektionssystem eintretende und vom Bild zum Objekt hin verlaufende Strahlen die optische Achse schneiden, ist zwischen der vierten Linsengruppe G4 und der fünften Linsengruppe G5 angeordnet. Eine variable Aperturbegrenzungsvorrichtung AS zum Einstellen der numerischen Apertur ist vom Ort Q aus gesehen bildseitig in der Linsengruppe G5 vorgesehen. Aufgrund dieser Anordnung werden die Vignettierungsunterschiede über die gesamte Oberfläche des Belichtungsfelds EF auf dem Arbeitsstück B (Fig. 1) hinweg minimiert.

Die erste Linsengruppe G1 trägt im wesentlichen zur Korrektur von Verzerrungen bei, während die Telezentrizität aufrechterhalten wird. Die zweite Linsengruppe G2 und die vierte Linsengruppe G4 tragen im wesentlichen zur Korrektur der Petzval-Summe bei und weisen die Funktion auf, die Bildebene IP zu glätten. Die dritte Linsengruppe G3 erzeugt positive Verzerrungen zusammen mit der ersten Linsengruppe G1 und dient dazu, die von der zweiten Linsengruppe G2, der vierten Linsengruppe G4 und der fünften Linsengruppe G5 erzeugte negative Verzerrung zu korrigieren. Die dritte Linsengruppe G3 und die zweite Linsengruppe G2 bilden ein Telesotosystem mit einer positiv-negativ-Brechkraftanordnung vom Bild zum Objekt hin gesehen. Diese Kombination verhindert eine Vergrößerung des optischen Projektionssystems 20. Um die vergrößerte bildseitige numerische Apertur zu begrenzen, unterdrückt die fünfte Linsengruppe G5 die Erzeugung von Verzerrungen insbesondere in dem Zustand, in dem die Erzeugung von sphärischen Abberationen minimiert wird, führt den Lichtstrahl auf das Arbeitsstück (Wafer) W und übernimmt somit die Bilderzeugung.

Es wird bevorzugt, daß das optische Projektionssystem gemäß dieser bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wenigstens eine der im folgenden angegebenen Bedingungen erfüllt. Die erste Bedingung (1) bestimmt die Doppeltelezentrizität und dient der Verringerung der Vignettierungsunterschiede im Belichtungsfeld. Bedingung (1) lautet:

$$0,01 < d_Q / (L \times (1-NA)) < 0,4,$$

wobei  $L$  der Abstand von der Objekthöhe  $OP$  zur Bildebene  $IP$  ist,  $NA$  die bildseitige numerische Apertur ist, und  $d_Q$  der axiale Abstand vom Ort  $Q$  bis zur Aperturbegrenzungsvorrichtung  $AS$  ist (positiv, wenn vom Ort  $Q$  bildseitig aus gemesen).

Falls  $d_Q/(L \times (1-NA))$  die obere Grenze in der Bedingung (1) übersteigt, steigt die Blendenaberation sehr stark an, und es ist schwierig, eine Doppeltelezentrität zu erhalten. Falls im Gegensatz dazu  $d_Q/(L \times (1-NA))$  unter die untere Grenze in Bedingung (1) fällt, führt eine Überkorrektur der Blendenaberation dazu, daß die Petzval-Summe sich 0 annähert, was zu einer Vergrößerung des optischen Projektionssystems führt. 5

Bei dem optischen Projektionssystem gemäß der bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist es ferner bevorzugt, daß die Aperturbegrenzungsvorrichtung  $AS$  von dem Ort  $Q$  aus gesehen bildseitig angeordnet ist. Dies minimiert die Vignettierungsunterschiede über das Belichtungsfeld hinweg, wenn die numerische Apertur durch Veränderung der Größe der Aperturbegrenzungsvorrichtung  $AS$  verändert wird. Der Vorteil dieser Anordnung kann verstanden werden, wenn man zwei parallele Lichtstrahlen (nicht gezeigt) betrachtet, die vom Bild zum Objekt hin durch das optische Projektionssystem 20 hindurch verlaufen. Diese Strahlen schneiden die optische Achse  $A$  am Ort  $Q$  aufgrund der Brechkraft der positiven Linsen bildseitig vom Ort  $Q$ . Da diese positiven Linsen positive Brechkraft aufweisen, bildet ein paralleler Lichtstrahl, der auf diese Linsen auft trifft, ein Bild an einem Ort bildseitig vom Ort  $Q$  aus. Dementsprechend kann, falls die Aperturbegrenzungsvorrichtung  $AS$  von dem Ort  $Q$  aus gesehen bildseitig vorgesehen ist, der Vignettierungseffekt im Randbereich des Belichtungsfeldes aufgrund der Feldkrümmung der Blende im praktischen Einsatz gut gesteuert werden. Die verschiedenen Abberationen können ausreichend gut korrigiert werden, selbst wenn die Größe der Aperturbegrenzungsvorrichtung  $AS$  verändert wird. 10 15 20

Die zweite Bedingung bestimmt den optimalen Brechkraftbereich der ersten Linsengruppe  $G1$  und lautet:

$$0,05 < f1/L < 0,5, \quad (2)$$

wobei  $f1$  die Brennweite der ersten Linsengruppe  $G1$  ist. Falls  $f1/L$  die obere Grenze in der Bedingung (2) übersteigt, kann die von der ersten Linsengruppe  $G1$  erzeugte positive Verzerrung von der negativen Verzerrung aufgrund der zweiten Linsengruppe  $G2$ , der vierten Linsengruppe  $G4$  und der fünften Linsengruppe  $G5$  nicht vollständig korrigiert werden. Im Gegensatz dazu werden, falls  $f1/L$  unter die untere Grenze in Bedingung (2) fällt, positive Verzerrungen höherer Ordnungen erzeugt. 25

Die dritte Bedingung bestimmt den optimalen Brechkraftbereich der zweiten Linsengruppe  $G2$  und lautet:

$$0,02 < -f2/L < 0,2, \quad (3)$$

wobei  $f2$  die Brennweite der zweiten Linsengruppe  $G2$  ist. Falls  $-f2/L$  die obere Grenze in Bedingung (3) übersteigt, wird die Petzval-Summe nicht ausreichend korrigiert, was dazu führt, daß es schwierig ist, die Bildebene zu glätten. Im Gegensatz dazu steigt, falls  $-f2/L$  unter die untere Grenze in Bedingung (3) fällt, die Erzeugung negativer Verzerrung an, und es wird schwierig, eine solche negative Verzerrung lediglich durch die erste Linsengruppe  $G1$  und die dritte Linsengruppe  $G3$  zu korrigieren. Die vierte Bedingung bestimmt den optimalen Brechkraftbereich der dritten Linsengruppe  $G3$  und lautet:

$$0,04 < f3/L < 0,4, \quad (4)$$

40

wobei  $f3$  die Brennweite der dritten Linsengruppe  $G3$  ist. Falls  $f3/L$  die obere Grenze in Bedingung (4) übersteigt, steigt die Größe des optischen Projektionssystems an, da das Telefotoverhältnis des Telefotosystems aus der zweiten Linsengruppe  $G2$  und der dritten Linsengruppe  $G3$  ansteigt. Zusätzlich steigt die von der dritten Linsengruppe  $G3$  erzeugte positive Verzerrung an, und die negative Verzerrung aufgrund der zweiten Linsengruppe  $G2$ , der vierten Linsengruppe  $G4$  und der fünften Linsengruppe  $G5$  kann nicht mehr ausreichend korrigiert werden. Im Gegensatz dazu kann, falls  $f3/L$  unter die untere Grenze in Bedingung (4) fällt, keine ausreichende Bildgebung aufgrund der sphärischen Abberationen höherer Ordnungen mehr erzielt werden. 45

Die fünfte Bedingung bestimmt den optimalen Brechkraftbereich der vierten Linsengruppe  $G4$  und lautet:

$$0,03 < -f4/L < 0,3, \quad (5)$$

50

wobei  $f4$  die Brennweite der vierten Linsengruppe  $G4$  ist. Falls  $-f4/L$  die obere Grenze in Bedingung (5) übersteigt, wird die Petzval-Summe nicht ausreichend korrigiert, was es schwierig macht, eine glatte Bildebene zu erzielen. Im Gegensatz dazu werden, falls  $-f4/L$  unter die untere Grenze in Bedingung (5) fällt, Abberationen höherer Ordnungen und Koma erzeugt. 55

Die sechste Bedingung bestimmt die optimale Brechkraft der fünften Linsengruppe  $G5$  und lautet:

$$0,04 < f5/L < 0,4, \quad (6)$$

60

wobei  $f5$  die Brennweite der fünften Linsengruppe  $G5$  ist. Falls  $f5/L$  die obere Grenze in Bedingung (6) übersteigt, wird die Gesamtbrechkraft der fünften Linsengruppe  $G5$  sehr schwach, was dazu führt, daß das optische Projektionssystem groß wird. Im Gegensatz dazu werden, falls  $f5/L$  unter die untere Grenze in Bedingung (6) fällt, Abberationen höherer Ordnungen erzeugt und der Bildkontrast wird schlecht.

65

Außerdem, wenn wenigstens eine der o.g. Bedingungen erfüllt wird, wird es auch bevorzugt, daß das optische Projektionssystem gemäß dieser bevorzugten Ausführungsform der Erfindung eine oder mehrere asphärische Oberflächen aufweist, die jeweils einen paraxialen Bereich (d. h. einen Bereich in der Nähe der Achse), einen Randbereich (d. h. einen Bereich

der Oberfläche, der am weitesten von der optischen Achse entfernt ist) und eine bestimmte Brechkraft aufweisen.

Gemäß dieser ersten bevorzugten Ausführungsform der Erfindung weist die vierte Linsengruppe G4 wenigstens eine asphärische Oberfläche ASP1 auf, und die vierte Linsengruppe G4 oder die fünfte Linsengruppe G5 weist wenigstens eine asphärische Oberfläche ASP2 auf, die zwischen der asphärischen Oberfläche ASP1 und der Aperturbegrenzungsvorrichtung AS vorgesehen ist. Zusätzlich weist die fünfte Linsengruppe G5 wenigstens eine asphärische Oberfläche ASP3 auf, die von der Aperturbegrenzungsvorrichtung AS aus gesehen bildseitig vorgesehen ist.

Durch Vorsehen wenigstens einer asphärischen Oberfläche (z. B. ASP1) in der vierten Linsengruppe G4 wird es möglich, die Erzeugung von winkelabhängigen Feldabberationen (insbesondere sagittaler Koma) zu unterdrücken, die insbesondere in hellen (d. h. große numerische Apertur) dioptrischen Systemen auftritt, die nur sphärische Oberflächen aufweisen. Es wird bevorzugt, daß die asphärische Oberfläche ASP1 konkav ist und daß diese eine solche Form in ihrem Randbereich aufweist, daß dort die Brechkraft relativ zum paraxialen Bereich geringer ist.

Es wird ferner bevorzugt, die asphärische Oberfläche ASP2 zwischen der asphärischen Oberfläche ASP1 und der Aperturbegrenzungsvorrichtung in der vierten Linsengruppe G4 und der fünften Linsengruppe G5 anzutragen, und die asphärische Oberfläche ASP3 in der fünften Linsengruppe G5 von der Aperturbegrenzungsvorrichtung AS gesehen bildseitig anzutragen. Diese Anordnung ermöglicht es, Abberationen zu korrigieren, die von den asphärischen Oberflächen vor oder nach der Aperturbegrenzungsvorrichtung erzeugt werden, und um sphärische Abberationen höherer Ordnungen zu korrigieren, ohne die Verzerrungen und die Koma weiter zu erhöhen.

Gemäß dieser bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist die asphärische Oberfläche ASP1 konkav, so daß die Brechkraft in deren Randbereich geringer ist als in dem paraxialen Bereich. Es wird ebenso bevorzugt, daß die asphärische Oberfläche ASP2 entweder konvex ist, so daß die Brechkraft in ihrem Randbereich geringer ist als in ihrem paraxialen Bereich, oder konkav ist, so daß die Brechkraft in ihrem Randbereich stärker ist als in ihrem paraxialen Bereich. Das heißt, daß es bevorzugt ist, daß die asphärische Oberfläche ASP2 z. B. eine Brechkraft aufweist, die im Randbereich negativer als im paraxialen Bereich ist. Gemäß einer anderen bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist die asphärische Oberfläche ASP3 entweder konvex, so daß die Brechkraft in deren Randbereich schwächer ist als in dem paraxialen Bereich, oder konkav, so daß die Brechkraft in deren Randbereich stärker ist als in dem paraxialen Bereich. Das heißt, daß z. B. die Brechkraft im Randbereich negativer als die Brechkraft im paraxialen Bereich ist. In diesem Fall ist es bevorzugt, die Brechkraft im Randbereich derart einzustellen, daß sie sich in Richtung zum paraxialen Bereich hin leicht verändert.

Zusätzlich zu den oben genannten bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung ist es ferner bevorzugt, daß zusätzliche asphärische Oberflächen außerhalb der vierten Linsengruppe G4 und der vierten Linsengruppe G5, d. h. in der ersten Linsengruppe G1, der zweiten Linsengruppe G2 und der dritten Linsengruppe G3 angeordnet werden, da solche Anordnungen für eine noch stärkere Korrektur der Abberationen sehr effektiv ist.

Unter Bezugnahme auf Fig. 4 und das optische Projektionssystem 40 wird im folgenden eine andere bevorzugte Ausführungsform der Erfindung beschrieben, bei der das optische Projektionssystem die asphärischen Oberflächen ASP1-ASP3, wie oben beschrieben, und ferner wenigstens eine asphärische Oberfläche ASP4 in der ersten Linsengruppe G1 aufweist. Diese Anordnung erleichtert die Korrektur von Verzerrungen.

Unter Bezugnahme auf Fig. 6 und das optische Projektionssystem 60 wird noch eine andere bevorzugte Ausführungsform der Erfindung beschrieben, bei der das optische Projektionssystem asphärische Oberflächen ASP1-ASP3, wie oben beschrieben, und ferner wenigstens eine asphärische Oberfläche ASP5 in der zweiten Linsengruppe G2 aufweist. Diese Anordnung erleichtert die Korrektur der Eingangsblendenaberation (Verschiebung der Eingangsblende als Funktion der Objekthöhe).

Unter Bezugnahme auf Fig. 8 und das optische Projektionssystem 80 wird noch eine andere bevorzugte Ausführungsform der Erfindung beschrieben, bei der das optische Projektionssystem asphärische Oberflächen ASP1-ASP3, wie oben beschrieben, und darüber hinaus wenigstens eine asphärische Oberfläche ASP6 in der dritten Linsengruppe G3 aufweist. Diese Anordnung erleichtert die Korrektur der Koma.

Wie aus Fig. 1 ersichtlich, wird, da in der Belichtungsvorrichtung 10 ein doppeltelezentrisches optisches Projektionssystem mit einer großen numerischen Apertur bereitgestellt wird, eine hohe Auflösung erzielt, und die Projektionsvergrößerung verändert sich nicht, selbst falls das Objekt (optische Platte) R und/oder das Arbeitsstück (Wafer) W Verwerfungen aufweisen. Dementsprechend kann die Belichtung mit einer hohen Auflösung und ohne Bildverzerrung durchgeführt werden. Zusätzlich können große Chip-Strukturen in einem Schritt belichtet werden, da ein großes Belichtungsfeld EF möglich ist.

In den folgenden Tabellen 1-4 sind für vier Arbeitsbeispiele die Konstruktionsangaben (Tabellen 1A-4A), die Werte der asphärischen Oberflächenkoefizienten für die asphärischen Oberflächen (Tabellen 1B-4B) und die Werte für die Parameter und Konstruktionsbedingungen der Arbeitsbeispiele 1-4 (Tabellen 1C-4C) angegeben. In den Tabellen 1A-4A ist D0 der axiale Abstand vom Objekt (optische Platte) R zu der Linsenoberfläche der ersten Linsengruppe G1, welche Linsenoberfläche am nächsten am Objekt angeordnet ist, WD der axiale Abstand (Arbeitsabstand) der am nächsten am Bild angeordneten Linsenoberfläche der fünften Linsengruppe G5 zum Arbeitsstück (Wafer) W,  $\beta$  die Projektionsvergrößerung des optischen Projektionssystems, NA ist die bildseitige numerische Apertur des optischen Projektionssystems, DEX der Durchmesser des Belichtungsfeldes EF auf dem Arbeitsstück (Wafer) W (siehe Fig. 1), und L ist der axiale Abstand zwischen dem Objekt (optische Platte) R (d. h. der Objektebene OP) und dem Arbeitsstück (Wafer) W (d. h. der Bildebene EP). In den Tabellen 1A-4A ist S die Oberflächenzahl der optischen Bauteile, die zwischen dem Objekt und dem Bild angeordnet sind, r ist der Krümmungsradius der entsprechenden Linsenoberfläche, d ist der axiale Abstand zwischen einander benachbarten Linsenoberflächen und n ist der Brechungsindex des Glases bei einer Wellenlänge von  $\lambda=246,4$  nm. Als Glasmaterial kann z. B. Quarz verwendet werden.

65 Der Ausdruck für eine asphärische Oberfläche ist wie folgt:

$$Z = \{cH^2 / (1 + \sqrt{1 - (1 + \kappa) c^2 H^2})\} + Ah^4 + Bh^6 + Ch^8 + Dh^{10} + Eh^{12} + Fh^{14},$$

wobei  $Z$  den Beitrag des Durchhangs einer Oberfläche parallel zur optischen Achse bezeichnet,  $c$  die Krümmung am Scheitelpunkt der Oberfläche ist,  $h$  der Abstand von der optischen Achse ist und  $\kappa$  der konische Koeffizient ist. Die Buchstaben A, B, C, D, E und F bezeichnen asphärische Oberflächenkoeffizienten.

In den im folgenden beschriebenen Arbeitsbeispielen beträgt der Maximalwert der numerischen Apertur  $NA_{MAX}=0,8$ , und der variable Bereich der numerischen Apertur beträgt etwa 60% des Maximalwertes, so daß der variable Bereich der numerischen Apertur aufgrund der Veränderung der Größe der Aperturbegrenzungsvorrichtung etwa  $0,5 \leq NA \leq 0,8$  (z. B.  $0,6 \times NA_{MAX} \leq NA \leq NA_{MAX}$ ) ist. 5

Aus den Fig. 3A-3D, 5A-5D, 7A-7D und 9A-9D sind Auftragungen der sphärischen Abberation (3A-9A), des Astigmatismus (3B-9B) der Verzerrung (3C-9C) bzw. der Koma (tangential und sagittal) (3D-9D) für die Arbeitsbeispiele 1-4 ersichtlich. Bei jeder Auftragung bezeichnet Y die Bildhöhe. Bei den Auftragungen des Astigmatismus (3B-9B) 10 stellt die durchbrochene Linie die tangentielle Bildebene dar, und die durchgezogene Linie stellt die sagittale Bildebene dar.

### Arbeitsbeispiel 1

Das aus Fig. 2 ersichtliche optische Projektionssystem 20 stellt das Arbeitsbeispiel 1 der Erfindung dar. Das optische Projektionssystem 20 ist doppeltelezentrisch und weist vom Objekt zum Bild hin gesehen, wie oben beschrieben, eine erste Linsengruppe G1 mit positiver Brechkraft, eine zweite Linsengruppe G2 mit negativer Brechkraft, eine dritte Linsengruppe G3 mit positiver Brechkraft, eine vierte Linsengruppe G4 mit negativer Brechkraft und eine fünfte Linsengruppe G5 mit positiver Brechkraft auf. Das optische Projektionssystem 20 ist, wie gesagt, doppeltelezentrisch. Der Ort Q ist zwischen der vierten Linsengruppe G4 und der fünften Linsengruppe G5 vorgesehen, und die veränderbare Aperturbegrenzungsvorrichtung AS ist von dem Ort Q aus gesehen bildseitig angeordnet. Diese Anordnung minimiert die Vignettierungsunterschiede über die gesamte Oberfläche des Belichtungsfeldes EF (Fig. 1) auf dem Arbeitsstück (Wafer) W hinweg. 15

Das optische Projektionssystem 20 weist ferner eine asphärische Oberfläche ASP1, die in der vierten Linsengruppe G4 vorgesehen ist, eine asphärische Oberfläche ASP2, die zwischen der asphärischen Oberfläche ASP1 und der Aperturbegrenzungsvorrichtung AS angeordnet ist, und eine asphärische Oberfläche ASP3 auf, die in der fünften Linsengruppe G5 von der Aperturbegrenzungsvorrichtung AS aus gesehen bildseitig vorgesehen ist. 20

In den folgenden Tabellen 1B, 2B, 3B und 4B steht En für 10<sub>h</sub>. 25

Tabelle 1A: Konstruktionsangaben für das Beispiel 1

$D_0 = 56.938$ $WD = 8.558$ $ \beta  = 1/4$ <b>Maximum NA = 0.8</b> $d_{EX} = 26.4$ $L = 1189.996$				
S	r	d	n	
1	-255.627	13.000	1.50839	
2	306.419	8.567	1	
3	1565.905	26.363	1.50839	
4	-286.322	1.000	1	
5	828.381	24.476	1.50839	
6	-314.474	1.000	1	
7	332.392	29.451	1.50839	
8	-407.364	1.000	1	
9	271.626	17.000	1.50839	
10	204.642	6.844	1	
11	311.458	31.538	1.50839	

S	r	d	n	
12	-295.797	1.000	1	
13	-2000.000	12.436	1.50839	
14	152.723	25.832	1	
15	-224.897	12.000	1.50839	
16	194.016	23.075	1	
17	-228.159	12.500	1.50839	
18	750.000	29.560	1	
19	-125.249	18.000	1.50839	
20	-456.292	6.197	1	
21	-316.444	29.551	1.50839	
22	-168.563	1.000	1	
23	$\infty$	40.572	1.50839	
24	-267.422	1.000	1	
25	2178.298	44.226	1.50839	
26	-317.500	1.000	1	
27	309.182	47.253	1.50839	
28	-1355.659	1.000	1	
29	171.033	46.299	1.50839	
30	475.084	20.092	1	
31	465.958	20.807	1.50839	
32	118.116	46.763	1	
33	-211.023	12.000	1.50839	(ASP1)
34	186.008	44.783	1	
35	-120.544	12.850	1.50839	
36	$\infty$	11.955	1	
37	-477.419	39.938	1.50839	(ASP2)
38	-169.642	4.108	1	

s	r	d	n	
39	$\infty$	8.892	1	(Q)
40	684.757	40.830	1.50839	
41	-391.691	0.000	1	
42	$\infty$	9.043	1	(AS)
43	1500.000	49.893	1.50839	
44	-274.486	12.401	1	
45	-214.316	27.250	1.50839	
46	-282.306	10.000	1	
47	260.941	40.402	1.50839	
48	1227.057	1.000	1	
49	188.000	39.918	1.50839	
50	444.771	1.000	1	
51	178.000	29.205	1.50839	
52	308.876	1.000	1	
53	149.162	33.190	1.50839	
54	476.624	3.871	1	(ASP3)
55	613.189	24.077	1.50839	
56	65.511	6.493	1	
57	66.070	60.000	1.50839	
58	367.843	(WD)	1	

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

## Tabelle 1B

## Werte der asphärischen Koeffizienten Oberfläche ASP1

5	$c = -4.73883E-04$
10	$\kappa = 1.212633$
15	$A = -1.37869E-08$
20	$B = 3.11693E-12$
25	$C = 5.04656E-17$
30	$D = 6.46573E-22$
35	$E = -3.20804E-25$
40	$F = 1.66371E-29$

## 25 Oberfläche ASP2

25	$c = 2.09459E-03$
30	$\kappa = -0.419761$
35	$A = -3.03031E-09$
40	$B = -3.82761E-13$
45	$C = 4.92647E-18$
50	$D = -1.27524E-21$
55	$E = 1.11209E-25$
60	$F = -4.75978E-30$

## 45 Oberfläche ASP3

50	$c = 2.09809E-03$
55	$\kappa = 0$
60	$A = 6.78816E-09$
65	$B = 9.68697E-13$
	$C = -5.23581E-17$
	$D = 1.18829E-21$
	$E = 0$
	$F = 0$

Tabelle 1C

## Parameter und Konstruktionsbedingungen

(1) $0.084 \leq d_0/\{L \times (1-NA)\} \leq 0.209$	5
(2) $f1/L = 0.125$	10
(3) $-f2/L = 0.046$	15
(4) $f3/L = 0.102$	20
(5) $-f4/L = 0.079$	25
(6) $f5/L = 0.109$	30
$f1 = 148.730$	35
$f2 = -54.952$	
$f3 = 120.942$	
$f4 = -93.589$	
$f5 = 129.783$	
$L = 1189.996$	
$d = 49.722$	
$NA = 0.8 - 0.5$	

Wie aus den Auftragungen 3A-3D für das Beispiel 1 ersichtlich, werden Verzerrungen über den gesamten großen Belichtungsbereich hinweg ausreichend korrigiert, und andere Aberrationen werden ebenfalls gut korrigiert. Zusätzlich sind, obwohl das optische Projektionssystem 20 doppeltelezentrisch mit einem Maximalwert der numerischen Apertur  $NA=0.8$  ist, die Vignettierungseffekte gering, und die verschiedenen Aberrationen werden ausreichend korrigiert, selbst falls die numerische Apertur stark geändert wird. Bei dieser Ausführungsform kann ein Belichtungsfeld verwendet werden, das schlitzartig ist (rechteckig) mit Abmessungen von z. B.  $26 \text{ nm} \times 8 \text{ mm}$  oder auch  $26 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$ .

## Arbeitsbeispiel 2

Das aus Fig. 4 ersichtliche optische Projektionssystem 40 ist das Arbeitsbeispiel 2 der Erfundung und weist im wesentlichen die gleiche Basisanordnung der Linsengruppen wie das optische Projektionssystem 20 aus Fig. 2 auf einschließlich der Orte der asphärischen Oberflächen ASP1-ASP3. Das optische Projektionssystem 40 weist ferner eine asphärische Oberfläche ASP4 auf, die in der ersten Linsengruppe G1 vorgesehen ist.

40

45

50

55

60

65

Tabelle 2A-Konstruktionsangaben des Arbeitsbeispiele 2

5	$D_0 = 56.937$ $WD = 8.556$ $ \beta  = 1/4$ $\text{Maximum NA} = 0.8$ $d_{ex} = 26.4$ $L = 1190.293$			
10	<b>S</b>	<b>r</b>	<b>d</b>	<b>n</b>
15	1	-255.794	13.000	1.50839
20	2	304.711	8.549	1 (ASP4)
25	3	1523.076	26.352	1.50839
30	4	-290.961	1.000	1
35	5	707.183	24.451	1.50839
40	6	-337.153	1.000	1
	7	342.978	29.211	1.50839
	8	-406.487	1.000	1
	9	262.194	17.000	1.50839
	10	192.603	6.830	1
	11	282.569	31.441	1.50839
	12	-296.721	1.000	1

45

50

55

60

65

## DE 199 02 336 A 1

S	r	d	n	
13	-2000.000	12.774	1.50839	
14	156.410	25.862	1	
15	-217.396	12.000	1.50839	
16	193.187	23.071	1	
17	-229.962	12.500	1.50839	
18	753.548	29.591	1	
19	-125.018	18.000	1.50839	
20	-470.631	6.215	1	
21	-322.848	29.532	1.50839	
22	-168.545	1.000	1	
23	$\infty$	40.488	1.50839	
24	-267.922	1.000	1	
25	2058.177	44.221	1.50839	
26	-319.862	1.000	1	
27	308.013	47.495	1.50839	
28	-1379.214	1.000	1	
29	171.065	46.313	1.50839	
30	475.356	20.101	1	
31	465.085	20.822	1.50839	
32	118.145	46.805	1	
33	-210.732	12.000	1.50839	(ASP1)
34	186.081	44.774	1	
35	-120.565	12.850	1.50839	
36	$\infty$	11.978	1	
37	-477.987	39.928	1.50839	(ASP2)
38	-169.679	4.102	1	
39	$\infty$	8.911	1	(Q)
40	682.568	40.816	1.50839	

## DE 199 02 336 A 1

S	r	d	n	
5 41	-391.897	0.000	1	
10 42	$\infty$	9.070	1	(AS)
15 43	1500.000	49.868	1.50839	
20 44	-274.701	12.416	1	
25 45	-214.373	27.250	1.50839	
30 46	-282.422	10.000	1	
35 47	260.913	40.405	1.50839	
40 48	1226.772	1.000	1	
45 49	188.000	39.907	1.50839	
50 50	444.503	1.000	1	
55 51	178.000	29.185	1.50839	
60 52	308.504	1.000	1	
65 53	149.159	33.191	1.50839	
70 54	474.418	3.897	1	(ASP3)
75 55	612.596	24.177	1.50839	
80 56	65.478	6.451	1	
85 57	66.000	60.000	1.50839	
90 58	368.643	(WD)	1	

45

50

55

60

65

## Tabelle 2B

## Werte der asphärischen Koeffizienten Oberfläche ASP1

$c = -4.74536E-03$	5
$\kappa = 1.223505$	10
$A = -1.41105E-08$	15
$B = 3.15056E-12$	20
$C = 5.33738E-17$	
$D = 6.14925E-22$	
$E = -3.11253E-25$	
$F = 1.59082E-29$	

25

30

35

40

45

50

55

60

65

## Oberfläche ASP2

5	$c = -2.09211E-03$
10	$\kappa = -0.445417$
15	$A = -2.99871E-09$
20	$B = -3.87784E-13$
	$C = 4.85381E-18$
	$D = -1.27131E-21$
	$E = 1.09975E-25$
	$F = -4.70926E-30$

## 25 Oberfläche ASP3

30	$c = 2.10785E-03$
35	$\kappa = 0$
40	$A = 6.70585E-09$
	$B = 9.66412E-13$
	$C = -5.16458E-17$
	$D = 1.16221E-21$
	$E = 0$
	$F = 0$

45

## Oberfläche ASP4

50	$c = 3.28179E-03$
55	$\kappa = 0$
60	$A = -3.81013E-09$
	$B = 2.15522E-13$
	$C = 7.31492E-18$
	$D = -1.31012E-21$
	$E = 0$
65	$F = 0$

Tabelle 2C

## Parameter und Konstruktionsbedingungen

	(1) $0.084 \leq d_Q / \{L \times (1-NA)\} \leq 0.209$	5
	(2) $f1/L = 0.125$	10
	(3) $-f2/L = 0.046$	15
	(4) $f3/L = 0.101$	20
	(5) $-f4/L = 0.079$	25
	(6) $f5/L = 0.109$	30
	$f1 = 148.873$	
	$f2 = -54.783$	
	$f3 = 120.796$	
	$f4 = -93.618$	
	$f5 = 129.808$	
	$L = 1190.293$	
	$d = 49.726$	
	$NA = 0.8-0.5$	35

Wie aus den Auftragungen 5A-5D für das Arbeitsbeispiel 2 der Erfindung ersichtlich, werden Verzerrungen im wesentlichen ausreichend über den gesamten großen Belichtungsbereich hinweg korrigiert, und auch die anderen Aberrationen werden gut korrigiert. Zusätzlich sind, obwohl das optische Projektionssystem 40 doppeltelezentrisch mit einem Maximalwert der numerischen Apertur (NA=0,8) ist, die Vignettierungseffekte gering, und die verschiedenen Aberrationen werden auch dann ausreichend gut korrigiert, wenn die numerische Apertur stark verändert wird.

## Arbeitsbeispiel 3

Das optische Projektionssystem 60, das aus Fig. 6 ersichtlich ist, stellt das Arbeitsbeispiel 3 der Erfindung dar und weist im wesentlichen die gleiche Basisanordnung der Linsengruppen, wie das optische Projektionssystem 20 aus Fig. 2, auf, einschließlich der Orte der asphärischen Oberflächen ASP1-ASP3. Das optische Projektionssystem 60 weist ferner eine asphärische Oberfläche ASP5 auf, die in der zweiten Linsengruppe G2 angeordnet ist.

45

50

55

60

65

Tabelle 3A-Konstruktionsangaben des Arbeitsbeispiele 3

5	$D_0 = 56.947$ $WD = 7.678$ $ \beta  = 1/4$ $\text{Maximum NA} = 0.8$ $d_{EX} = 26.4$ $L = 1191.307$			
10	<b>S</b>	<b>r</b>	<b>d</b>	<b>n</b>
15	1	-295.194	13.000	1.50839
20	2	307.090	11.543	1
25	3	2094.974	20.585	1.50839
30	4	-308.498	1.000	1
35	5	798.586	25.527	1.50839
40	6	-348.935	1.000	1
45	7	421.955	28.789	1.50839
50	8	-335.489	1.000	1
55	9	281.085	17.000	1.50839
60	10	210.236	3.852	1
65	11	248.819	31.665	1.50839
70	12	-312.999	1.000	1
75	13	-2000.000	12.729	1.50839
80	14	150.843	27.217	1
85	15	-203.928	12.000	1.50839
90	16	167.173	26.604	1
95	17	-208.236	12.500	1.50839
100	18	957.666	24.946	1 (ASP5)

55

60

65

S	r	d	n	
19	-147.060	18.000	1.50839	5
20	-378.007	7.483	1	10
21	-258.912	25.237	1.50839	15
22	-168.885	1.000	1	20
23	$\infty$	40.270	1.50839	25
24	-266.905	1.000	1	30
25	1909.000	44.411	1.50839	35
26	-318.771	1.000	1	40
27	281.823	48.046	1.50839	45
28	-2703.904	1.000	1	50
29	173.110	46.118	1.50839	55
30	491.765	23.296	1	60
31	475.493	20.366	1.50839	
32	120.322	46.663	1	
33	-209.981	12.000	1.50839	(ASP1)
34	197.000	45.464	1	
35	-114.299	12.850	1.50839	
36	-5000.000	11.908	1	
37	-478.278	42.997	1.50839	(ASP2)
38	-169.870	4.260	1	
39	$\infty$	8.837	1	(Q)
40	683.041	40.543	1.50839	
41	-386.391	0.000	1	
42	$\infty$	8.716	1	(AS)
43	1378.469	47.021	1.50839	
44	-287.893	17.279	1	
45	-214.067	27.250	1.50839	

S	r	d	n	
46	-277.449	10.000	1	
47	260.145	42.695	1.50839	
48	1760.879	1.000	1	
49	189.250	38.807	1.50839	
50	444.163	1.000	1	
51	180.000	27.895	1.50839	
52	297.607	1.000	1	
53	155.389	32.579	1.50839	
54	496.127	4.141	1	(ASP)
55	712.002	27.982	1.50839	
56	65.481	4.652	1	
57	66.000	59.959	1.50839	
58	441.381	(WD)	1	

35

Tabelle 3B

Werte der asphärischen Koeffizienten Oberfläche ASP1

40

$$c = -4.76234E-03$$

45

$$\kappa = 0.86165i$$

50

$$A = -7.84820E-09$$

55

$$B = 3.01423E-12$$

$$C = 9.70754E-17$$

$$D = 1.62617E-21$$

$$E = -2.56672E-25$$

$$F = 1.42087E-29$$

60

65

## Oberfläche ASP2

c = -2.09084E-03	5
$\kappa = 2.804972$	
A = -8.77018E-09	10
B = -4.80478E-13	
C = -3.02578E-18	15
D = -2.74308E-21	
E = 2.11317E-25	20
F = -1.37915E-29	

## Oberfläche ASP3

c = 2.01561E-03	25
$\kappa = 0$	
A = 5.23214E-10	30
B = 1.19414E-12	
C = -5.86228E-17	35
D = 1.24893E-21	
E = 0	40
F = 0	

## Oberfläche ASP5

c = 1.04421E-03	45
$\kappa = 0$	
A = -2.65532E-08	50
B = -4.16828E-13	
C = 5.01741E-18	55
D = -6.52068E-21	
E = 7.82794E-25	60
F = -6.18178E-29	

Tabelle 3C

## Parameter und Konstruktionsbedingungen

5	(1) $0.083 \leq d_Q/\{L \times (1-NA)\} \leq 0.207$
10	(2) $f1/L = 0.123$
15	(3) $-f2/L = 0.047$
20	(4) $f3/L = 0.104$
25	(5) $-f4/L = 0.080$
30	(6) $f5/L = 0.110$
35	$f1 = 145.982$
	$f2 = -56.252$
	$f3 = 123.837$
	$f4 = -94.933$
	$f5 = 131.432$
	$L = 1191.307$
	$d = 49.380$
	$NA = 0.8-0.5$

Wie aus den Auftragungen 7A-7D des Arbeitsbeispiels 3 der Erfindung ersichtlich, werden Verzerrungen ausreichend gut über die gesamte große Fläche des Belichtungsfeldes hinweg korrigiert, und auch die anderen Aberrationen werden gut korrigiert. Zusätzlich sind, obwohl das optische Projektionssystem 60 doppeltelezentrisch mit einem Maximalwert 40 der numerischen Apertur  $NA=0.8$  ist, die Vignettierungeffekte gering, und die verschiedenen Aberrationen werden auch dann gut korrigiert, falls die numerische Apertur stark verändert wird.

Bei dieser Ausführungsform kann ein Belichtungsfeld mit einer schlitzartigen Form (rechteckigen Form) als Belichtungsfeld verwendet werden, wobei die Abmessungen z. B. 26 mm  $\times$  8 mm oder 26 mm  $\times$  5 mm betragen können.

## 45 Arbeitsbeispiel 4

Das optische Projektionssystem 80, das aus Fig. 8 ersichtlich ist, stellt das Arbeitsbeispiel 4 der Erfindung dar und weist im wesentlichen die gleiche Basisanordnung der Linsengruppen, wie das optische Projektionssystem 20 aus Fig. 2, auf einschließlich der Orte der asphärischen Oberflächen ASP1-ASP3. Das optische Projektionssystem 80 weist ferner 50 eine asphärische Oberfläche ASP6 auf, die in der dritten Linsengruppe G3 vorgesehen ist.

55

60

65

DE 199 02 336 A 1

Tabelle 4A-Konstruktionsangaben für das Arbeitsbeispiel 4

$D_0 = 56.195$   
 $WD = 8.547$   
 $|\beta| = 1/4$   
 Maximum NA = 0.8  
 $d_{ex} = 26.4$   
 $L = 1189.851$

S	r	d	n	
1	-281.019	13.000	1.50839	
2	316.929	8.609	1	
3	2500.000	26.225	1.50839	
4	-303.360	1.000	1	
5	804.062	24.227	1.50839	
6	-318.842	1.000	1	
7	354.459	29.152	1.50839	
8	-377.293	1.000	1	
9	263.543	17.000	1.50839	
10	199.659	6.604	1	
11	295.344	30.241	1.50839	
12	-307.153	1.074	1	
13	-2000.000	13.052	1.50839	
14	152.095	25.535	1	
15	-226.948	12.000	1.50839	

## DE 199 02 336 A 1

s	r	d	n	
5	16	199.970	23.919	1
10	17	-200.430	12.500	1.50839
15	18	750.000	29.580	1
20	19	-134.929	18.000	1.50839
25	20	-423.324	6.957	1
30	21	-286.676	29.399	1.50839
35	22	-167.682	1.000	1
40	23	$\infty$	40.813	1.50839
45	24	-266.938	1.000	1
50	25	3220.051	42.890	1.50839
55	26	-317.569	1.000	1
60	27	302.026	48.170	1.50839
65	28	-1518.815	1.000	1 (ASP6)
70	29	171.737	46.214	1.50839
75	30	481.358	20.022	1
80	31	458.364	20.729	1.50839
85	32	121.840	46.884	1
90	33	-203.076	12.000	1.50839 (ASPI)
95	34	185.000	45.147	1
100	35	-121.196	12.850	1.50839
105	36	$\infty$	11.728	1
110	37	-465.519	39.959	1.50839 (ASP2)
115	38	-170.031	4.118	1
120	39	$\infty$	8.882	1 (Q)
125	40	663.260	40.673	1.50839
130	41	-392.224	0.000	1
135	42	$\infty$	9.244	1 (AS)
140	43	1492.727	49.719	1.50839
145	44	-277.593	12.757	1

S	r	d	n	
45	-214.522	27.250	1.50839	5
46	-282.481	10.000	1	10
47	261.717	41.243	1.50839	15
48	1246.120	1.000	1	20
49	188.000	39.612	1.50839	25
50	439.103	1.000	1	30
51	178.000	29.125	1.50839	35
52	307.599	1.000	1	
53	147.699	33.313	1.50839	
54	461.089	4.088	1	(ASP3)
55	612.505	24.500	1.50839	
56	65.463	6.105	1	
57	66.000	60.000	1.50839	
58	373.143	(WD)	1	

Tabelle 4B

Werte der asphärischen Koeffizienten Oberfläche ASP1

$c = -4.92426E-03$
$\kappa = 1.140743$
$A = -1.17013E-08$
$B = 2.95847E-12$
$C = 7.22796E-17$
$D = 3.50053E-21$
$E = -4.73158E-25$
$F = 1.77468E-29$

## Oberfläche ASP2

5	$c = -2.14814E-03$
10	$\kappa = -0.511241$
15	$A = -2.90908E-09$
20	$B = -3.82923E-13$
25	$C = 9.51818E-19$
30	$D = -1.02058E-21$
35	$E = 7.38868E-26$
40	$F = -3.11809E-30$

## Oberfläche ASP3

25	$c = 2.16878E-03$
30	$\kappa = 0$
35	$A = 6.88715E-09$
40	$B = 8.36584E-13$
45	$C = -4.26325E-17$
50	$D = 9.02955E-22$
55	$E = 0$
60	$F = 0$

## Oberfläche ASP6

50	$c = -6.58408E-04$
55	$\kappa = 0$
60	$A = -1.29700E-09$
65	$B = -2.23515E-14$
	$C = 2.71217E-19$
	$D = 4.78605E-24$
	$E = 0$
	$F = 0$

Tabelle 4C

## Parameter und Konstruktionsbedingungen

	(1) $0.084 \leq d_Q / \{L \times (1-NA)\} \leq 0.208$	5
	(2) $f1/L = 0.125$	10
	(3) $-f2/L = 0.047$	15
	(4) $f3/L = 0.103$	20
	(5) $-f4/L = 0.079$	25
	(6) $f5/L = 0.109$	30
	$f1 = 148.857$	
	$f2 = -55.987$	
	$f3 = 122.578$	
	$f4 = -93.819$	
	$f5 = 130.011$	
	$L = 1189.851$	
	$d = 49.554$	
	$NA = 0.8 - 0.5$	35

Wie aus den Auftragungen 9A-9D für das Arbeitsbeispiel 4 der Erfindung ersichtlich, werden Verzerrungen ausreichend über die gesamte große Fläche des Belichtungsfeldes korrigiert, und die anderen Aberationen werden ebenfalls gut korrigiert. Zusätzlich sind, obwohl das optische Projektionssystem 80 doppeltelezentrisch mit einem Maximalwert der numerischen Apertur  $NA=0,8$  ist, die Vignettierungseffekte gering und die verschiedenen Aberationen werden selbst dann gut korrigiert, falls die numerische Apertur stark geändert wird.

Auch bei dieser Ausführungsform kann ein Belichtungsfeld mit einer schlitzartigen Form (rechteckigen Form) verwendet werden, das z. B. Abmessungen von  $26 \text{ mm} \times 8 \text{ mm}$  oder  $26 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$  aufweist.

Es ist klar, daß die Erfindung nicht auf bestimmte Wellenlängen oder einen schmalen Wellenlängenbereich um diese herum beschränkt ist. Die Erfindung kann z. B. mit UV-Licht einer Wellenlänge von  $\lambda=248,4 \text{ nm}$  (z. B. von einem KrF-Laser), ferner UV-Licht eine Wellenlänge von  $\lambda=193 \text{ nm}$  (z. B. von einem ArF-Laser), Licht mit einer Wellenlänge von  $\lambda=157 \text{ nm}$  (z. B. F<sub>2</sub>-Laser) und Licht mit einer Wellenlänge von  $\lambda=147 \text{ nm}$  (z. B. von einem Kr<sub>2</sub>-Laser verwendet werden).

Zusätzlich kann die Erfindung mit anderen Wellenlängen im UV-Bereich verwendet werden, wie der g-Linie ( $\lambda=435,8 \text{ nm}$ ) und der i-Linie ( $\lambda=365,0 \text{ nm}$ ) einer Quecksilberdampflampe und den höheren Harmonischen eines YAG-Lasers ( $\lambda=248 \text{ nm}$ ,  $193 \text{ nm}$  oder  $157 \text{ nm}$ ). Außerdem können andere Glastypen neben Quarz, wie Fluoride (Calziumfluorid, CAF<sub>2</sub>), Bariumfluorid (BaF<sub>2</sub>), Liziumfluorid (LiF) und Magnesiumfluorid (MgF<sub>2</sub>) verwendet werden.

Die oben beschriebenen Ausführungsformen betreffen Step-and-Scan-Belichtungsvorrichtungen. Das erfindungsge-  
mäß optische Belichtungssystem kann jedoch auch für Step-and-Repeat-Belichtungsvorrichtungen verwendet werden. In diesem Fall kann das Belichtungsfeld quadratisch oder rechteckig innerhalb eines kreisförmigen Bereichs mit einem Durchmesser von  $26,4 \text{ mm}$  sein. Die Projektionsvergrößerung (laterale Vergrößerung) dieser Ausführungsformen sind Verkleinerungen, es sind jedoch auch Vergrößerungen sowie gleichgroße Abbildungen möglich.

## Herstellungsverfahren für Halbleiterbauteile

Die Erfindung betrifft auch ein Verfahren zum Strukturieren eines Werkstücks unter Verwendung der Belichtungsvorrichtung 10 aus Fig. 1. Das Verfahren weist folgende Schritte auf: Bereitstellen einer Schicht aus einem lichtempfindlichen Material auf einem Werkstück (Wafer) W, Projizieren eines Bildes einer auf einem Objekt (optische Platte) R aufgebrachten Struktur durch das optische Projektionssystem PL hindurch auf das Werkstück (Wafer) W und Entwickeln des lichtempfindlichen Materials auf dem Werkstück (Wafer) W. Es kann ein zusätzlicher Schritt ausgeführt werden, in dem eine vorbestimmte Schaltkreisstruktur auf dem Arbeitsstück (Wafer) W (z. B. mithilfe eines Ätzverfahrens) unter Verwendung des zuvor entwickelten lichtempfindlichen Materials als Maske ausgebildet wird. Solch ein Verfahren führt

zu einer Schaltkreisstruktur auf dem Arbeitstück (Wafer) W mit einer hohen Auflösung, ohne das wesentliche Bildverzerrungen auftreten.

Unter Bezugnahme auf Fig. 10 und das Flußdiagramm 100 wird im folgenden ein Herstellungsverfahren für Halbleiterbauteile erläutert. Als erstes wird in Schritt 1 eine dünne Metallschicht auf jedem Wafer eines Lotes (d. h. einer Gruppe) von Wafers aufgedampft. In Schritt 2 wird ein Fotolack auf die Metallschicht auf jedem Wafer in dem Lot aufgebracht. Danach wird in Schritt 3 unter Verwendung der Projektionsvorrichtung 10 aus Fig. 1, die das optische Projektionssystem PL gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung aufweist, ein Bild der Struktur (nicht gezeigt) auf dem Objekt (optische Platte) R nach und nach belichtet und auf ein oder mehrere Belichtungsfelder EF auf jedem Wafer W in dem Lot der Wafer durch das optische Projektionssystem PL hindurch übertragen. Dann wird in Schritt 4 der Fotolack auf jedem Wafer in dem Lot von Wafers entwickelt. Als nächstes wird in Schritt 5 durch selektives Abätzen der Wafer W unter Verwendung des Fotolacks als Maske eine Schaltkreisstruktur entsprechend der Struktur auf der optischen Platte R in jedem Belichtungsfeld EF auf jedem Wafer W ausgebildet. Danach werden in Schritt 6 durch Bilden zusätzlicher Schaltkreisstrukturen (z. B. überlagerte Schaltkreisstrukturen) unter Verwendung des nächsten Verfahrens die Halbleiterbauteile fertiggestellt.

15 Da das optische Projektionssystem PL gemäß diesem Beispiel doppeltelezentrisch und seine numerische Apertur groß und veränderbar ist, können sehr fein strukturierte Schaltkreisstrukturen mit hoher Auflösung auf jedem Wafer W aufgebracht werden, selbst wenn die optische Platte R oder die belichteten Wafer Verwerfungen aufweisen. Zusätzlich können, da das Belichtungsfeld EF des optischen Projektionssystems PL groß ist, große Vorräte mit großem Durchsatz hergestellt werden.

20

### Patentansprüche

1. Optisches Projektionssystem, mit dem ein Bild eines Objektes abgebildet werden kann, wobei das optische Projektionssystem vom Objekt zum Bild hin entlang seiner optischen Achse (A) aufweist:
  - a) eine erste Linsengruppe (G1) mit positiver Brechkraft;
  - b) eine zweite Linsengruppe (G2) mit negativer Brechkraft;
  - c) eine dritte Linsengruppe (G3) mit positiver Brechkraft;
  - d) eine vierte Linsengruppe (G4) mit negativer Brechkraft und einer ersten asphärischen Oberfläche;
  - e) eine fünfte Linsengruppe (G5) mit positiver Brechkraft und einer Aperturbegrenzungsvorrichtung (AS);
  - f) wobei das optische Projektionssystem derart aufgebaut ist, daß paraxiale Strahlen, die vom Bild zum Objekt hin parallel zur optischen Achse (A) verlaufen, die optische Achse (A) an einem Ort Q zwischen der vierten Linsengruppe (G4) und der fünften Linsengruppe (G5) schneiden;
  - g) die vierte Linsengruppe (G4) und/oder die fünfte Linsengruppe (G5) eine zweite asphärische Oberfläche aufweist;
  - h) die fünfte Linsengruppe (G5) eine dritte asphärische Oberfläche aufweist, die von der Aperturbegrenzungsvorrichtung (AS) aus gesehen bildseitig angeordnet ist; und
  - i) wobei die folgende Bedingung erfüllt ist:

40

$$0,01 < d_Q / (L \times (1-NA)) < 0,4,$$

45

wobei das Bild und das Objekt in einem Abstand L von einander angeordnet sind, der Ort Q und die Begrenzungsvorrichtung in einem Abstand  $d_Q$  voneinander angeordnet sind und NA die bildseitige numerische Apertur (NA) des optischen Projektionssystems ist.

50

2. Optisches Projektionssystem nach Anspruch 1, wobei die Aperturbegrenzungsvorrichtung (AS) eine variable Größe aufweist und von dem Ort Q aus gesehen bildseitig angeordnet ist, so daß die Vignettierungseffekte minimiert werden, wenn die variable Größe verändert wird.

55

3. Optisches Projektionssystem nach Anspruch 1, wobei:

- a) die erste asphärische Oberfläche konkav ist und einen paraxialen Bereich, einen Randbereich und eine Brechkraft aufweist, wobei die Brechkraft in dem Randbereich geringer ist als die Brechkraft in dem paraxialen Bereich ist;
- b) die zweite asperische Oberfläche einen paraxialen Bereich, einen Randbereich und eine Brechkraft aufweist und entweder:

60

- i) eine konvexe Oberfläche ist, bei der die Brechkraft im Randbereich geringer ist als die Brechkraft im paraxialen Bereich; oder
- ii) eine konkave Oberfläche ist, wobei die Brechkraft in dem Randbereich größer als die Brechkraft in dem paraxialen Bereich ist; und

65

- c) die dritte asperische Oberfläche einen paraxialen Bereich, einen Randbereich und eine Brechkraft aufweist und entweder:

- i) eine konvexe Oberfläche ist, wobei die Brechkraft in dem Randbereich geringer als die Brechkraft in dem paraxialen Bereich ist; oder
- ii) eine konkav Oberfläche ist, wobei die Brechkraft in dem Randbereich größer als die Brechkraft in dem paraxialen Bereich ist.

70

4. Optisches Projektionssystem nach Anspruch 1, wobei die erste Linsengruppe (G1) wenigstens eine asphärische Oberfläche aufweist.

75

5. Optisches Projektionssystem nach Anspruch 1, wobei die zweite Linsengruppe (G2) wenigstens eine asphärische Oberfläche aufweist.

80

6. Optisches Projektionssystem nach Anspruch 1, wobei die dritte Linsengruppe (G3) wenigstens eine asphärische Oberfläche aufweist.

7. Optisches Projektionssystem nach Anspruch 1, das wenigstens eine der folgenden Bedingungen erfüllt:

$0,05 < f1/L < 0,5$  (2)

$0,02 < -f2/L < 0,2$  (3)

$0,04 < f3/L < 0,4$  (4)

$0,03 < -f4/L < 0,3$  (5)

$0,04 < f5/L < 0,4$ , (6)

5

10

wobei  $f1$  bis  $f5$  jeweils die Brennweiten der ersten bis zur fünften Linsengruppe (G1–G5) sind.

8. Optisches Projektionssystem, mit dem ein Bild eines Objektes abgebildet werden kann, wobei das optische Projektionssystem vom Objekt zum Bild hin entlang seiner optischen Achse (A) aufweist:

15

- a) eine erste Linsengruppe (G1) mit positiver Brechkraft;
- b) eine zweite Linsengruppe (G2) mit negativer Brechkraft;
- c) eine dritte Linsengruppe (G3) mit positiver Brechkraft;
- d) eine vierte Linsengruppe (G4) mit negativer Brechkraft und einer ersten asphärischen konkaven Oberfläche mit einem paraxialen Bereich, einem Randbereich und einer Brechkraft, wobei die Brechkraft in dem Randbereich geringer als die Brechkraft in dem paraxialen Bereich ist;
- e) einer zweiten asphärischen Oberfläche, die von der ersten asphärischen Oberfläche aus gesehen bildseitig angeordnet ist und einen paraxialen Bereich, einen Randbereich und eine Brechkraft aufweist und entweder:
  - i) eine konvexe Oberfläche ist, wobei die Brechkraft in dem Randbereich geringer als die Brechkraft in dem paraxialen Bereich ist; oder
  - ii) eine konkave Oberfläche ist, wobei die Brechkraft in dem Randbereich stärker als die Brechkraft in dem paraxialen Bereich ist;
- f) eine fünfte Linsengruppe (G5) mit positiver Brechkraft, einer Aperturbegrenzungseinheit (AS) und einer dritten asphärischen Oberfläche, die von der Aperturbegrenzungsvorrichtung (AS) aus gesehen bildseitig angeordnet ist, wobei die dritte asphärische Oberfläche einen paraxialen Bereich, einen Randbereich und eine Brechkraft aufweist und entweder:
  - i) eine konvexe Oberfläche ist, wobei die Brechkraft in dem Randbereich geringer als die Brechkraft in dem paraxialen Bereich ist; oder
  - ii) eine konkave Oberfläche ist, wobei die Brechkraft in dem Randbereich größer als die Brechkraft in dem paraxialen Bereich ist; und
- g) wobei das optische Projektionssystem derart aufgebaut ist, das paraxiale Strahlen, die parallel zur optischen Achse (A) vom Bild zum Objekt hin verlaufen, die optische Achse (A) an einem Ort Q zwischen der vierten Linsengruppe (G4) und der fünften Linsengruppe (G5) schneiden.

20

25

30

35

40

50

55

9. Optisches Projektionssystem nach Anspruch 8, wobei die erste Linsengruppe (G1) wenigstens eine asphärische Oberfläche aufweist.

10. Optisches Projektionssystem nach Anspruch 8, wobei die zweite Linsengruppe (G2) wenigstens eine asphärische Oberfläche aufweist.

11. Optisches Projektionssystem nach Anspruch 8, wobei die dritte Linsengruppe (G3) wenigstens eine asphärische Oberfläche aufweist.

12. Optisches Projektionssystem nach Anspruch 8, das wenigstens eine der folgenden Bedingungen erfüllt:

45

$0,05 < f1/L < 0,5$  (2)

$0,02 < -f2/L < 0,2$  (3)

$0,04 < f3/L < 0,4$  (4)

$0,03 < -f4/L < 0,3$  (5)

$0,04 < f5/L < 0,4$ , (6)

50

60

65

wobei  $f1$  bis  $f5$  jeweils die Brennweite der ersten bis fünften Linsengruppe (G1–G5) sind.

13. Optische Belichtungsvorrichtung zum Abbilden eines Musters auf einem Original (R) auf ein lichtempfindliches Arbeitsstück (W), wobei die Belichtungsvorrichtung aufweist:

- a) eine erste Halterung (RS) zum Halten des Originals;
- b) ein optisches Belichtungssystem (IS), das neben der ersten Halterung (RS) angeordnet ist, zum Belichten des Originals;
- c) einer zweiten Halterung (WS) zum Halten des Arbeitsstücks (W); und
- d) ein optisches Projektionssystem, das zwischen der ersten Halterung (RS) und der zweiten Halterung (WS) angeordnet ist, wobei das optische Projektionssystem aufweist:
  - i) eine erste Linsengruppe (G1) mit positiver Brechkraft;
  - ii) eine zweite Linsengruppe (G2), die zwischen der ersten Linsengruppe (G1) und der ersten Halterung (RS) angeordnet ist, mit negativer Brechkraft;

fsph.  
4. Linsen  
gruppe

- iii) eine dritte Linsengruppe (G3), die zwischen der zweiten Linsengruppe (G2) und der zweiten Halterung (WS) angeordnet ist, mit positiver Brechkraft;
- iv) eine vierten Linsengruppe (G4), die zwischen der dritten Linsengruppe (G3) und der zweiten Halterung (WS) angeordnet ist, mit negativer Brechkraft und einer ersten asphärischen Oberfläche;
- v) eine fünfte Linsengruppe (G5), die zwischen der vierten Linsengruppe (G4) und der zweiten Halterung (WS) angeordnet ist, mit positiver Brechkraft und einer Aperturbegrenzungsvorrichtung (AS);
- vi) wobei das optische Projektionssystem derart aufgebaut ist, daß paraxiale Strahlen, die parallel zur optischen Achse (A) vom Bild zum Objekt hin verlaufen, die optische Achse (A) an einem Ort Q zwischen der vierten Linsengruppe (G4) und der fünften Linsengruppe (G5) schneiden;
- vii) entweder die vierte Linsengruppe (G4) und/oder die fünfte Linsengruppe (G5) eine zweite asphärische Oberfläche aufweist;
- viii) die fünfte Linsengruppe (G5) eine dritte asphärische Oberfläche aufweist, die von der Aperturbegrenzungsvorrichtung (AS) aus gesehen bildseitig angeordnet ist; und
- ix) wobei die folgende Bedingung erfüllt wird:

$$0,01 < d_0 / \{ I, x (1-NA) \} < 0,4$$

wobei das Bild und das Objekt in einem Abstand  $L$  von einander angeordnet sind, der Ort  $Q$  und die Aperturbegrenzungsvorrichtung ( $\Delta S$ ) in einem Abstand  $dQ$  von einander angeordnet sind, und  $N\Delta$  die bildseitige numerische Apertur (NA) des optischen Projektionssystems ist.

14. Belichtungsvorrichtung nach Anspruch 13, wobei die Halterung (RS) für die optische Platte (R) und die Arbeitsstückhalterung (WS) entlang der Scan-Richtung verschiebbar sind und das optische Projektionssystem ein Belichtungsfeld aufweist, das eine erste Abmessung senkrecht zu der Scan-Richtung eine zweite Abmessung entlang der Scan-Richtung aufweist, wobei die erste Abmessung größer als die zweite Abmessung ist.

15. Optische Belichtungsvorrichtung nach Anspruch 14, wobei die erste Abmessung wenigstens 25 mm beträgt.

16. Verfahren zum Strukturieren eines lichtempfindlichen Arbeitsstücks (W) mit einem auf einer optischen Platte (R) aufgebrachten Muster, wobei das Verfahren folgende Schritte aufweist:

- Beleuchten der optischen Platte (R);
- Projizieren von Licht von der optischen Platte (R) her mit dem optischen Projektionssystem gemäß Anspruch 1; und
- Beleuchten des lichtempfindlichen Arbeitsstücks (W) über ein Belichtungsfeld hinweg.

17. Herstellungsverfahren für ein Bauteil mit folgenden Schritten:

- Aufbringen eines lichtempfindlichen Materials auf ein Substrat;
- Projizieren des Bildes eines auf einer optischen Platte (R) aufgebrachten Musters durch das optische Beleuchtungssystem gemäß Anspruch 1 hindurch auf das Substrat; und
- Entwickeln des lichtempfindlichen Materials auf dem Substrat, wodurch eine Photolackstruktur ausgebildet wird.

18. Verfahren nach Anspruch 17, das einen Schritt aufweist, in dem nach Schritt c) eine Struktur in dem Substrat basierend auf der Photolackstruktur gebildet wird.

19. Optisches Projektionssystem, mit dem ein Bild eines Objektes abgebildet werden kann, wobei das optische Projektionssystem vom Objekt zum Bild entlang seiner optischen Achse (A) aufweist:

- eine erste Linsengruppe (G1) mit positiver Brechkraft und einer Mehrzahl von Linsen einschließlich zweier negativer Linsen;
- eine zweite Linsengruppe (G2) mit negativer Brechkraft und einer Mehrzahl von negativen Linsen;
- eine dritte Linsengruppe (G3) mit positiver Brechkraft und einer Mehrzahl von positiven Linsen;
- eine vierten Linsengruppe (G4) mit negativer Brechkraft und einer Mehrzahl von Linsen einschließlich einer positiven Linse;
- einer fünften Linsengruppe (G5) mit positiver Brechkraft und einer Mehrzahl von Linsen einschließlich zweier negativer Linsen; und
- einer bildseitigen maximalen numerischen Apertur ( $NA_{MAX}$ ) von wenigstens 0,8.

20. Optisches Projektionssystem nach Anspruch 19, das eine Aperturbegrenzungsvorrichtung (AS) aufweist, die in der fünften Linsengruppe (G5) vorgesehen ist.

21. Optisches Projektionssystem nach Anspruch 20, das wenigstens eine der folgenden Bedingungen erfüllt:

$$55 \quad 0,01 < d_Q / (L \times (1-NA)) < 0,4 \quad (1)$$

$$0,05 < f_1/L < 0,5 \quad (2)$$

$$0,02 < -f2/L < 0,2 \quad (3)$$

$$0,04 < f3/L < 0,4 \quad (4)$$

$$0,03 < -f4/L < 0,3 \quad (5)$$

$$65 \quad 0,04 < f5/L < 0,4, \quad (6)$$

wobei  $f_1$  bis  $f_5$  jeweils die Brennweiten der ersten bis fünften Linsengruppe (G1–G5) sind, wobei das Bild und das Objekt voneinander in einem Abstand  $L$  angeordnet sind,  $Q$  ein Ort im Abstand  $d_Q$  von der Aperturbegrenzung vor-

richtung (AS) ist, wobei paraxiale Strahlen, die parallel zur optischen Achse (A) vom Bild zum Objekt hin verlaufen, die optische Achse (A) am Ort Q schneiden und woher NA die bildseitige numerische Apertur der Projektionslinse ist.

22. Optisches Projektionssystem nach Anspruch 20, das ein Belichtungsfeld aufweist, das eine Abmessung von wenigstens 25 mm aufweist. 5

23. Optisches Projektionssystem nach Anspruch 20, wobei die Anzahl der Linsen, die objektseitig von der Aperturbegrenzungsvorrichtung (AS) vorgesehen sind, wenigstens sechs ist, und die Anzahl der Linsen, die bildseitig von der Aperturbegrenzungsvorrichtung (AS) vorgesehen sind, wenigstens vier ist.

24. Optisches Projektionssystem nach Anspruch 20, wobei die Aperturbegrenzungsvorrichtung (AS) eine variable Größe aufweist, so daß das optische Projektionssystem eine numerische Apertur NA aufweist, die die Bedingung: 10

$$0,6 \times NA_{MAX} \leq NA \leq NA_{MAX}$$

erfüllt.

25. Optisches Projektionssystem nach Anspruch 20, wobei die optische Achse (A) ungefaltet verläuft. 15

26. Verfahren zum Strukturieren eines lichtempfindlichen Arbeitsstücks (W) mit einem auf einem Original vorge-sehenen Muster, wobei das Verfahren folgende Schritte aufweist:

- a) Beleuchten des Originals mit Licht;
- b) Projizieren des Lichtes von dem Original mit dem optischen Projektionssystem nach Anspruch 8; und
- c) Beleuchten des lichtempfindlichen Arbeitsstücks (W) über ein Belichtungsfeld hinweg.

27. Optisches Projektionssystem nach Anspruch 1, wobei:

- a) die erste asphärische Oberfläche konkav ist und eine Brechkraft in einem paraxialen Bereich und eine Brechkraft in einem Randbereich aufweist, wobei die Brechkraft in dem Randbereich geringer als die Brechkraft in dem paraxialen Bereich ist;
- b) die zweite asphärische Oberfläche eine Brechkraft in einem paraxialen Bereich und eine Brechkraft in einem Randbereich aufweist, wobei die Brechkraft in dem Randbereich negativer ist als die Brechkraft in dem paraxialen Bereich; und
- c) die dritte asphärische Oberfläche eine Brechkraft in einem paraxialen Bereich und eine Brechkraft in einem Randbereich aufweist, wobei die Brechkraft in dem Randbereich negativer ist als die Brechkraft in dem paraxialen Bereich ist.

28. Belichtungsvorrichtung zum Abbilden einer Struktur auf einem Original auf ein lichtempfindliches Arbeitsstück (W) mit:

- a) einer ersten Halterung (RS) zum Halten des Originals;
- b) einem optischen Beleuchtungssystem (IS) neben der ersten Halterung (RS) zum Beleuchten des Originals;
- c) einer zweiten Halterung (WS) zum Halten des Arbeitsstücks (W); und
- d) einem optischen Projektionssystem zwischen der ersten Halterung (RS) und der zweiten Halterung (WS), wobei das optische Projektionssystem aufweist:

- i) eine erste Linsengruppe (G1) mit positiver Brechkraft;
- ii) eine zweite Linsengruppe (G2), die zwischen der ersten Linsengruppe (G1) und der zweiten Halterung (WS) angeordnet ist, mit negativer Brechkraft;
- iii) eine dritte Linsengruppe (G3), die zwischen der zweiten Linsengruppe (G2) und der zweiten Halterung (WS) angeordnet ist, mit positiver Brechkraft;
- iv) eine vierte Linsengruppe (G4), die zwischen der dritten Linsengruppe (G3) und der zweiten Linsengruppe (G2) angeordnet ist, mit negativer Brechkraft und einer ersten asphärischen konkaven Oberfläche, mit einem paraxialen Bereich, einem Randbereich und einer Brechkraft, wobei die Brechkraft in dem Randbereich geringer als die Brechkraft in dem paraxialen Bereich ist;
- v) einer zweiten asphärischen Oberfläche, die von der ersten asphärischen Oberfläche aus gesehen bildseitig angeordnet ist, und einen paraxialen Bereich, einen Randbereich und eine Brechkraft aufweist und entweder:

- v-a) eine konvexe Oberfläche ist, wobei die Brechkraft in dem Randbereich geringer als die Brechkraft in dem paraxialen Bereich ist; oder
- v-b) eine konkave Oberfläche ist, wobei die Brechkraft in dem Randbereich größer als die Brechkraft in dem paraxialen Bereich ist;

- vi) einer fünften Linsengruppe (G5), die zwischen der vierten Linsengruppe (G4) und der zweiten Halterung (WS) angeordnet ist, mit positiver Brechkraft, einer Aperturbegrenzungsvorrichtung (AS) und einer dritten asphärischen Oberfläche mit einem paraxialen Bereich, einem Randbereich und einer Brechkraft, die entweder:

- vi-a) eine konvexe Oberfläche ist, wobei die Brechkraft in dem Randbereich geringer als die Brechkraft in dem paraxialen Bereich ist; oder
- vi-b) eine konkave Oberfläche ist, wobei die Brechkraft in dem Randbereich größer als die Brechkraft in dem paraxialen Bereich ist; und

- vii) wobei das optische Projektionssystem derart aufgebaut ist, daß paraxiale Strahlen, die parallel zur optischen Achse (A) vom Bild zum Objekt hin verlaufen, die optische Achse (A) an einem Ort Q zwischen der vierten Linsengruppe (G4) und der fünften Linsengruppe (G5) schneiden.

29. Belichtungsvorrichtung nach Anspruch 28, wobei die erste Halterung (RS) und die zweite Halterung (WS) entlang der Scan-Richtung verschiebbar sind, und das optische Projektionssystem ein Belichtungsfeld mit einer ersten Abmessung senkrecht zur Scan-Richtung und einer zweiten Abmessung entlang der Scan-Richtung aufweist, wobei die erste Abmessung größer als die zweite Abmessung ist. 65

5

10

15

20

25

30

35

40

45

55

60

65

pos. neg. pos.  $\rightarrow$  1. asph.

61 62 63

$\Rightarrow$  asph. in  
4 Linsengr.

asph.  
Bildseitig  
1. asph.

645 und  
3. asph.

30. Belichtungsvorrichtung zum Abbilden eines Bilds einer Struktur auf einem Original auf ein lichtempfindliches Arbeitsstück (W) mit:

- 5 a) einer ersten Halterung (RS), die entlang der Scan-Richtung bewegbar ist, zum Halten des Originals;
- b) einem optischen Beleuchtungssystem (IS) neben der ersten Halterung (RS) zum Beleuchten des Originals (R) mit Licht;
- c) einer zweiten Halterung (WS), die entlang wenigstens der Scan-Richtung bewegbar ist, zum Halten des lichtempfindlichen Arbeitsstücks (W);
- d) einem optischen Projektionssystem, das zwischen der ersten Halterung (RS) und der zweiten Halterung (WS) angeordnet ist, mit einer Mehrzahl von Linsen und einer Aperturbegrenzungsvorrichtung (AS), wobei die Mehrzahl von Linsen und die Aperturbegrenzungsvorrichtung (AS) derart aufgebaut sind, daß Licht von dem Original kommend auf ein Belichtungsfeld auf dem Substrat geleitet werden kann, mit einer bildseitigen maximalen numerischen Apertur (NA) von wenigstens 0,8; und
- e) wobei das Belichtungsfeld eine erste Abmessung senkrecht zur Scan-Richtung und eine zweite Abmessung entlang der Scan-Richtung aufweist, wobei die erste Abmessung größer als die zweite Abmessung ist und die erste Abmessung wenigstens 15 mm beträgt.

31. Beleuchtungsvorrichtung nach Anspruch 30, wobei das Belichtungsfeld schlitzförmig ist und die erste Abmessung der Schlitzform wenigstens 25 mm beträgt.

32. Beleuchtungsvorrichtung nach Anspruch 30, wobei wenigstens eine der Mehrzahl von Linsen eine asphärische Oberfläche aufweist.

33. Verfahren zum Strukturieren eines lichtempfindlichen Arbeitsstücks (W) mit einer auf einem Original vorgegebenen Struktur, wobei das Verfahren folgende Schritte aufweist:

- a) Beleuchten des Originals mit Licht von dem optischen Beleuchtungssystem (IS) der Belichtungsvorrichtung gemäß Anspruch 30;
- b) Projizieren von Licht von dem Original mit dem optischen Projektionssystem der Belichtungsvorrichtung nach Anspruch 30; und
- c) Beleuchten des lichtempfindlichen Arbeitsstücks (W) über ein Belichtungsfeld hinweg.

Hierzu 14 Seite(n) Zeichnungen

30

35

40

45

50

55

60

65

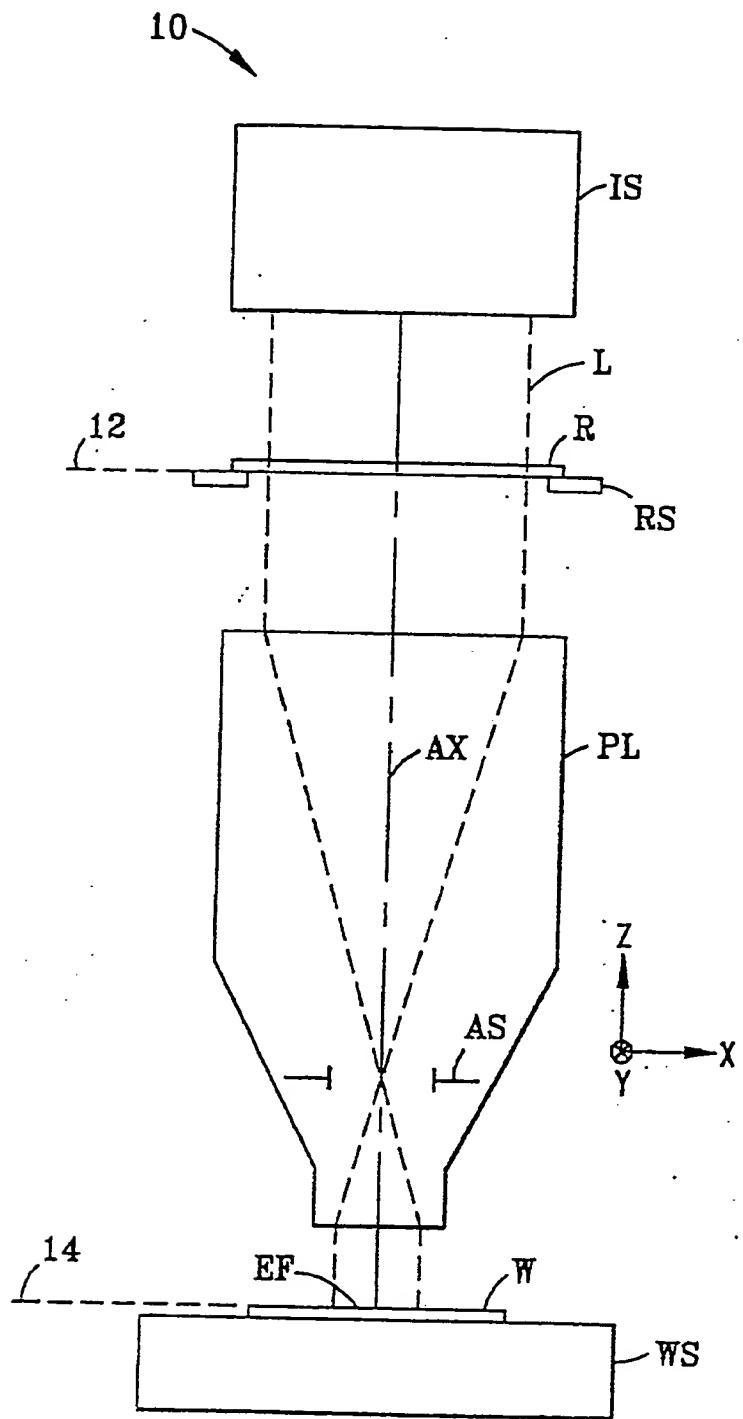


FIG. 1

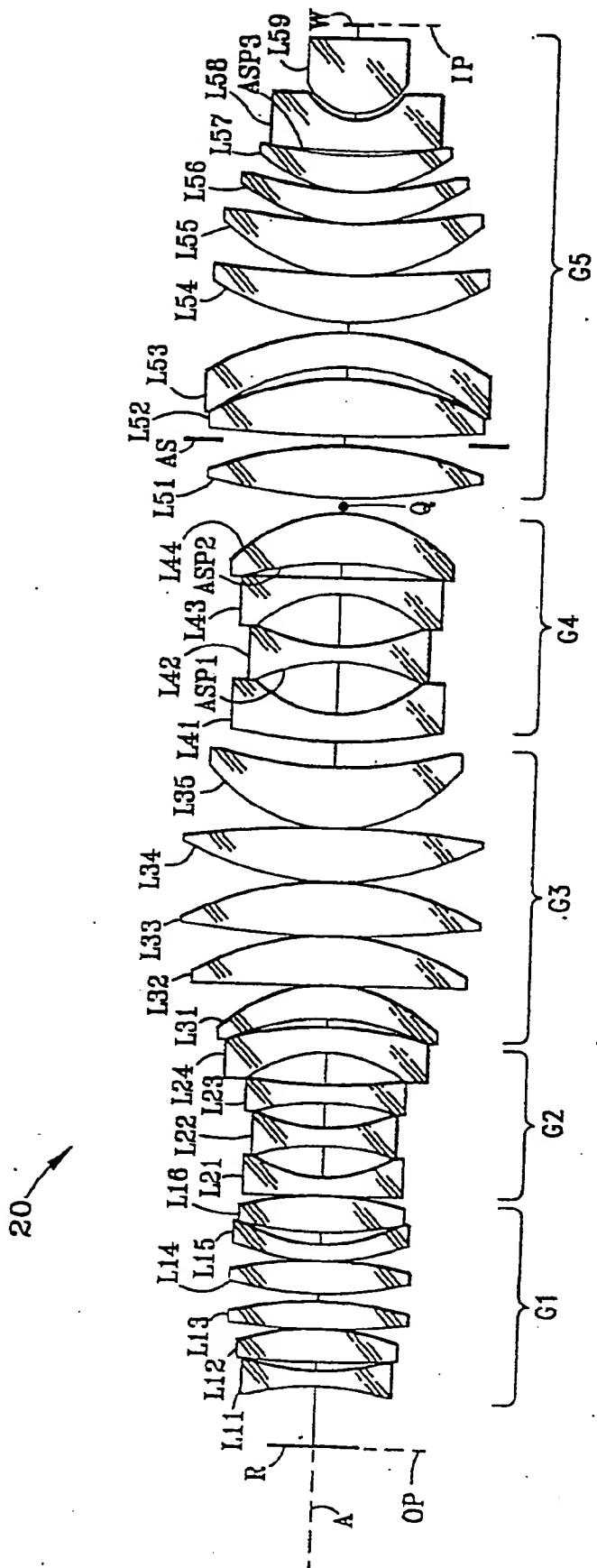
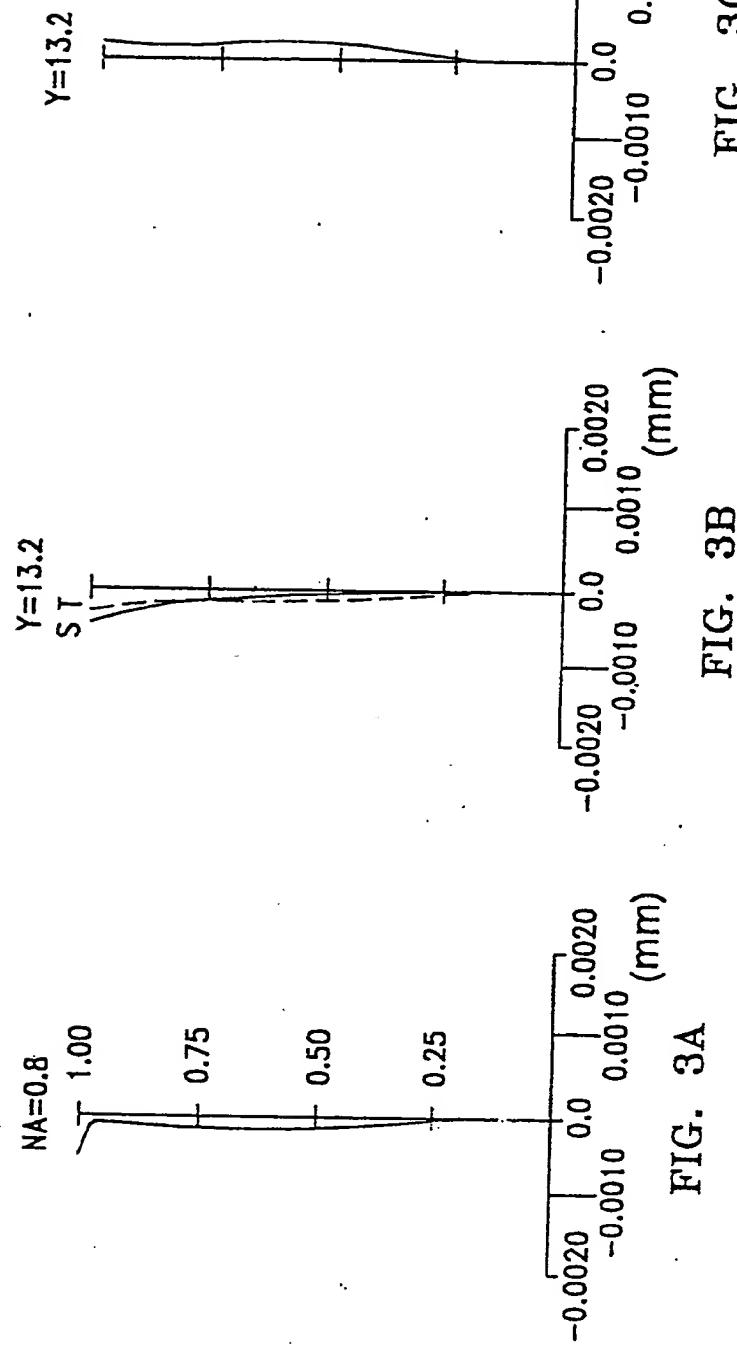


FIG. 2



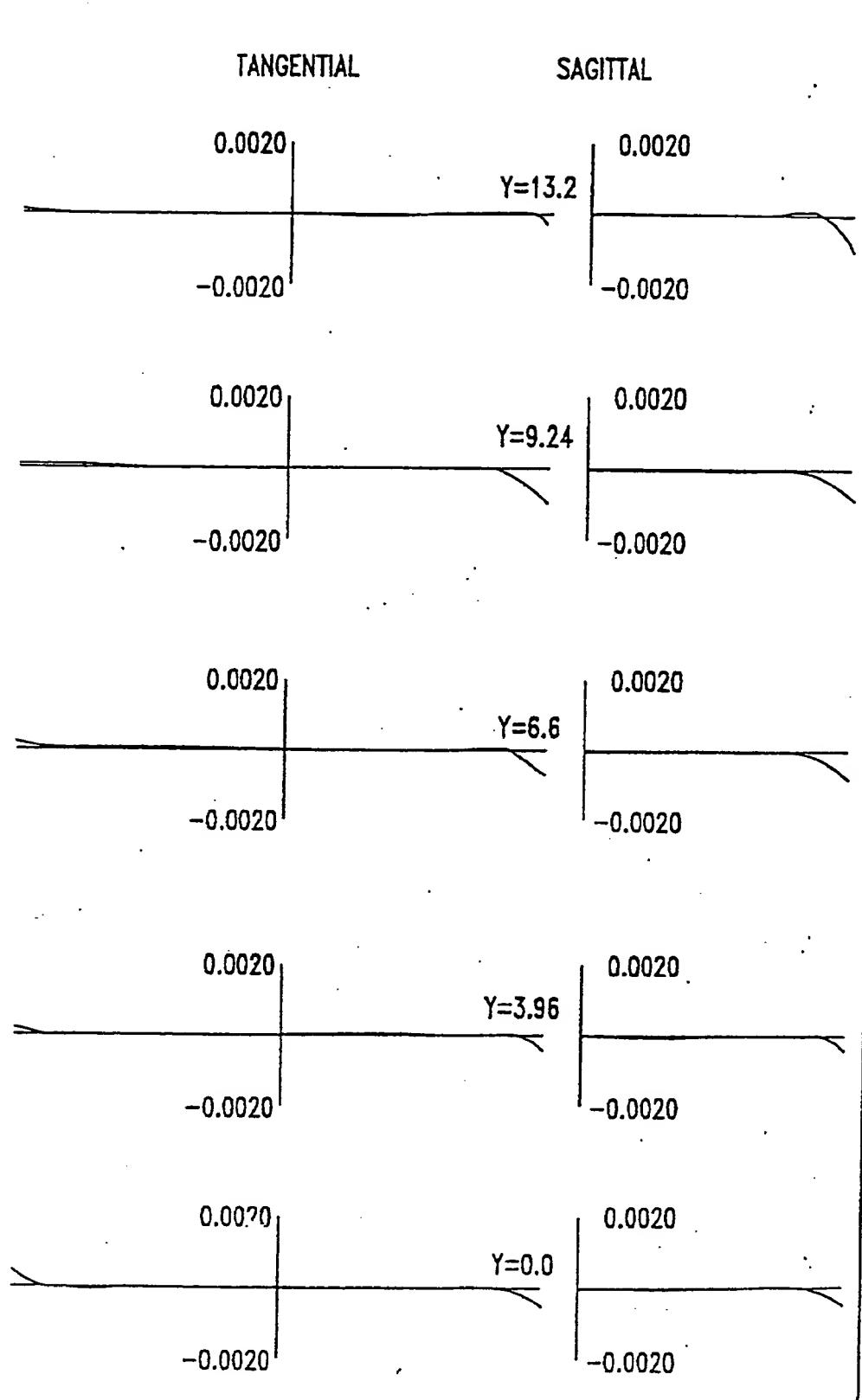


FIG. 3D

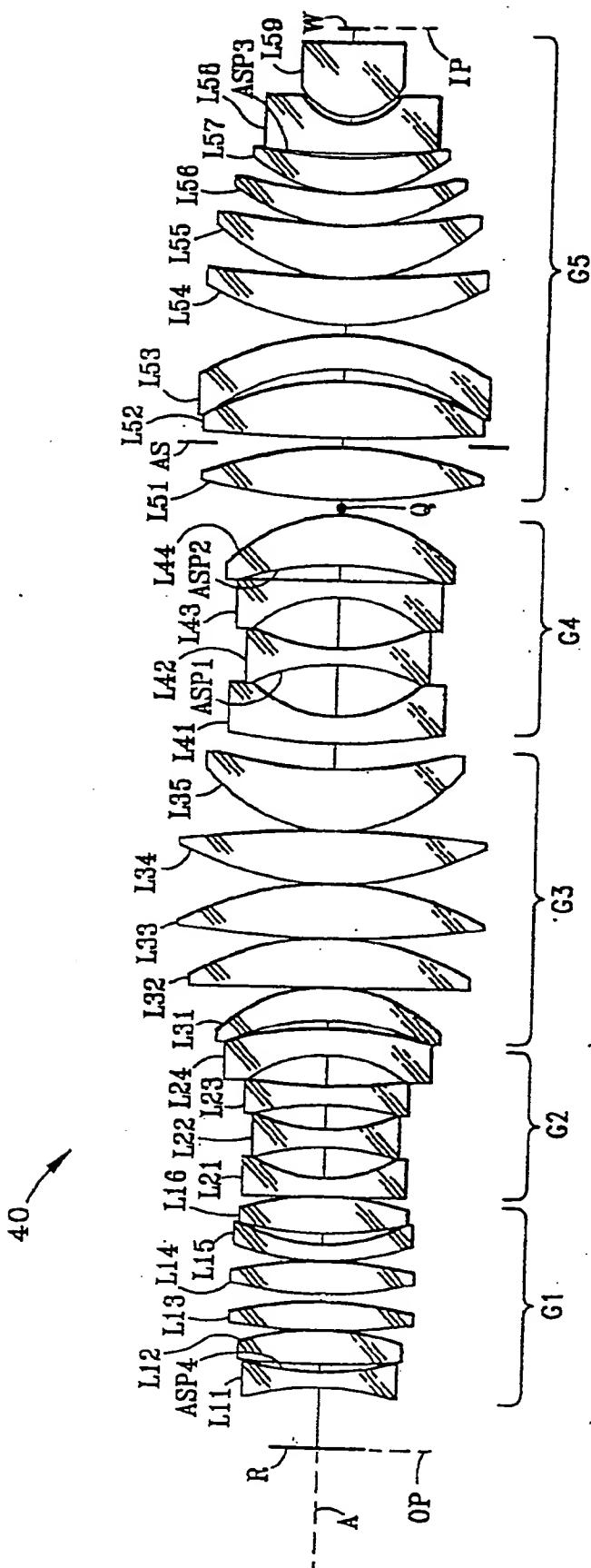


FIG. 4

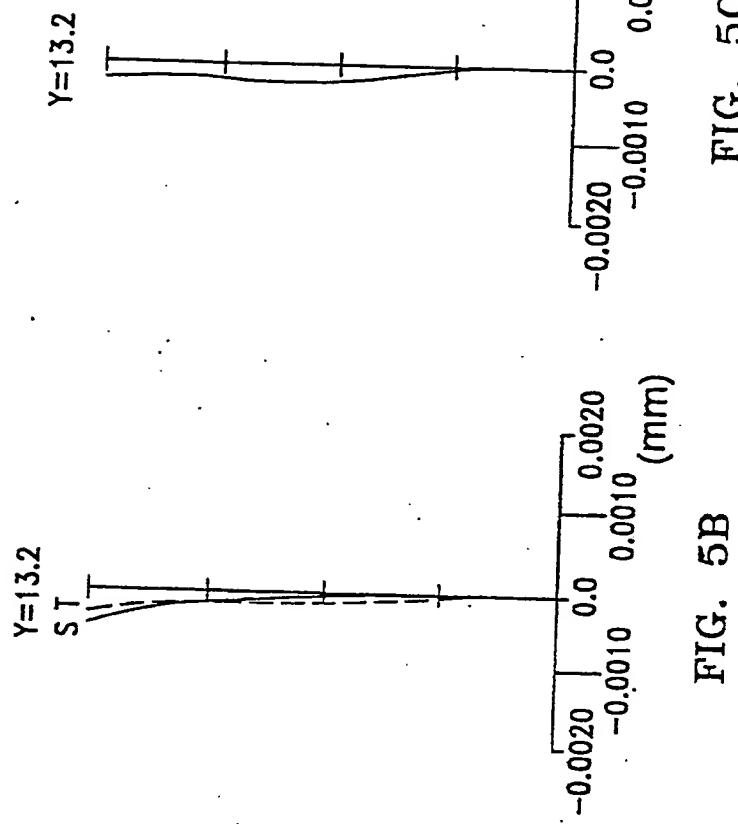
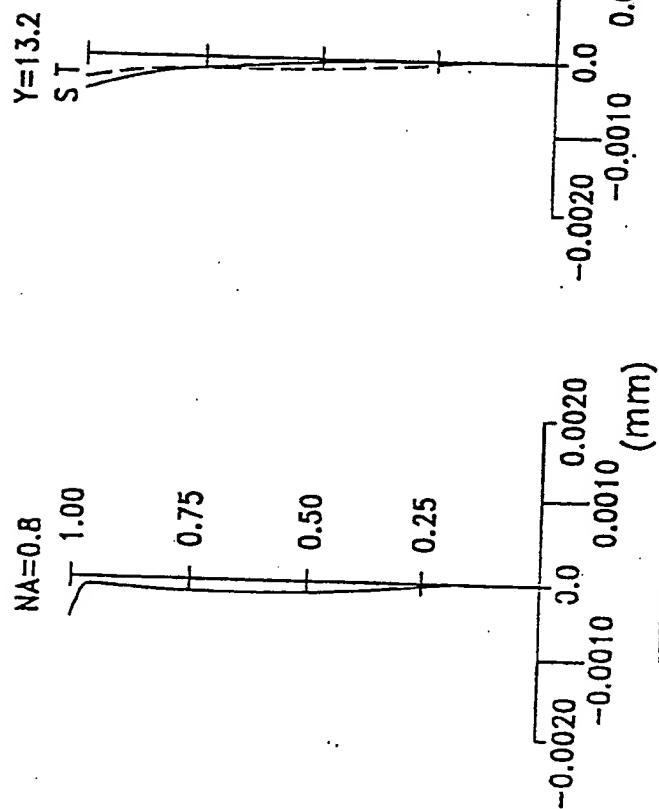


FIG. 5C

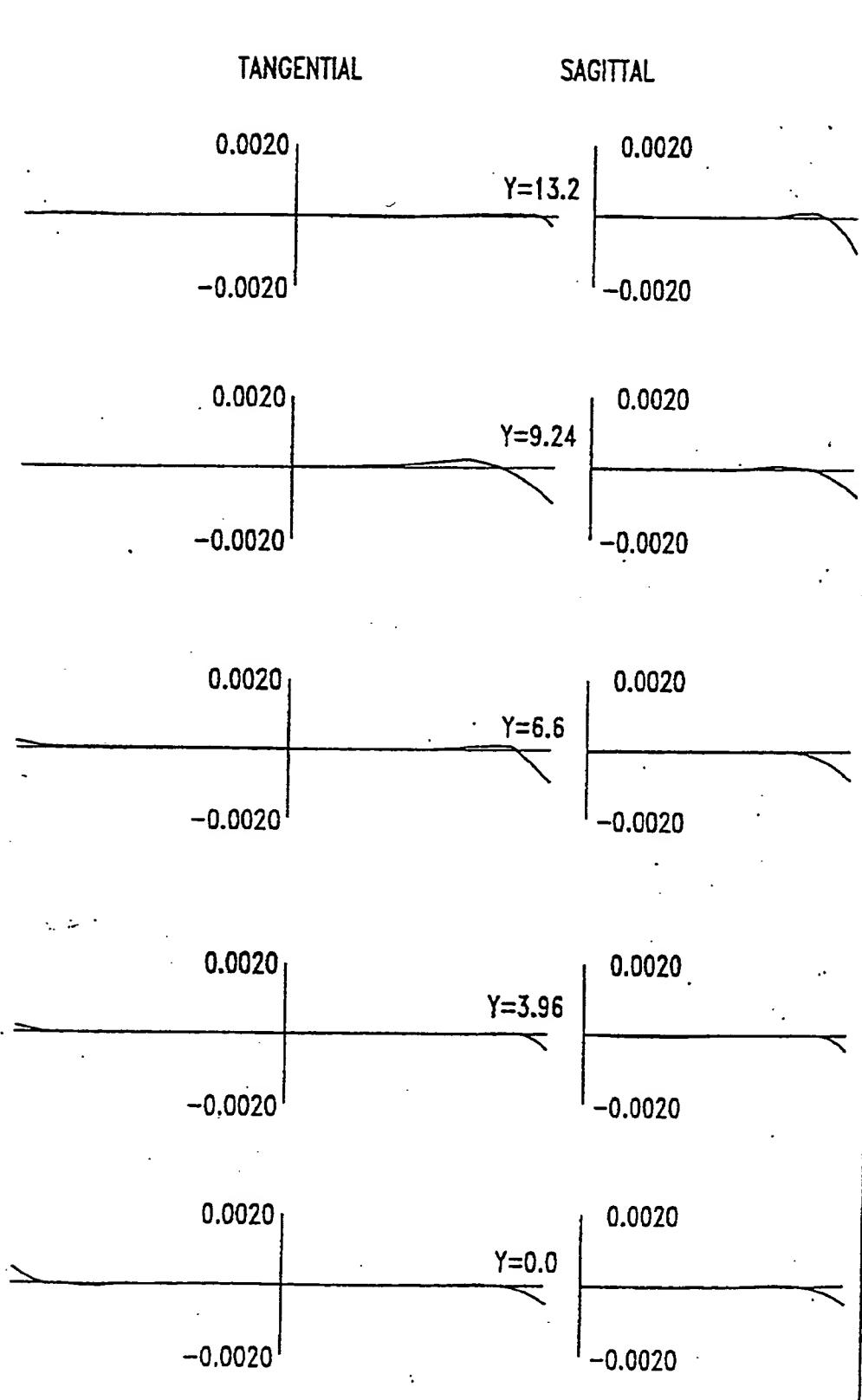


FIG. 5D

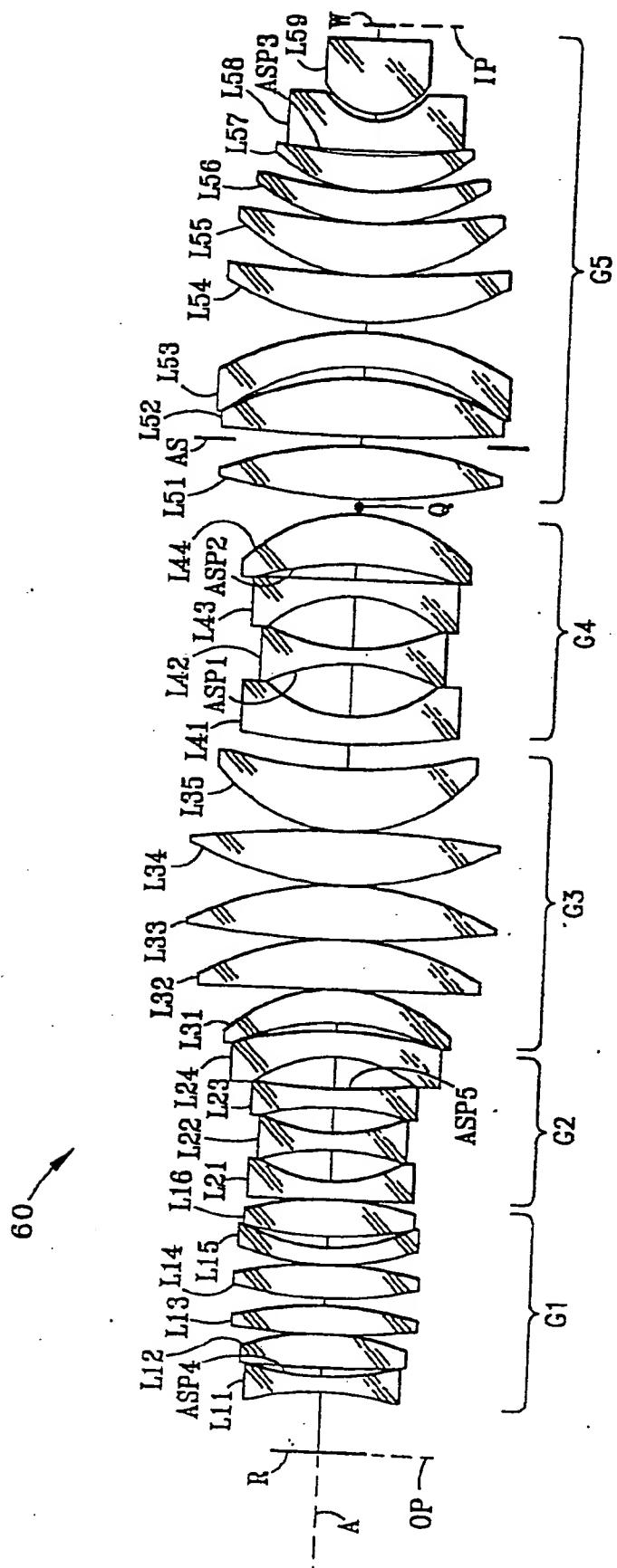


FIG. 6

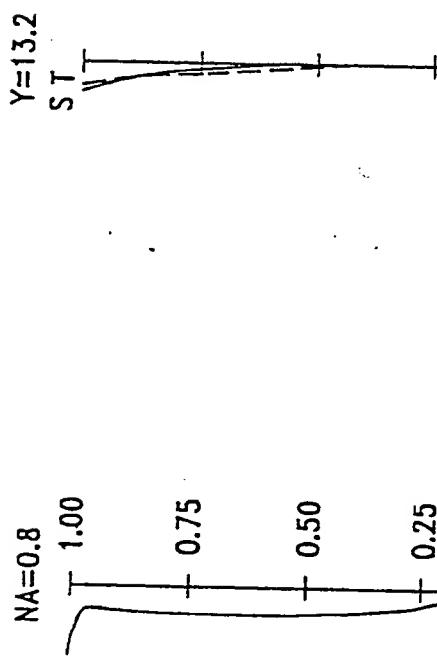
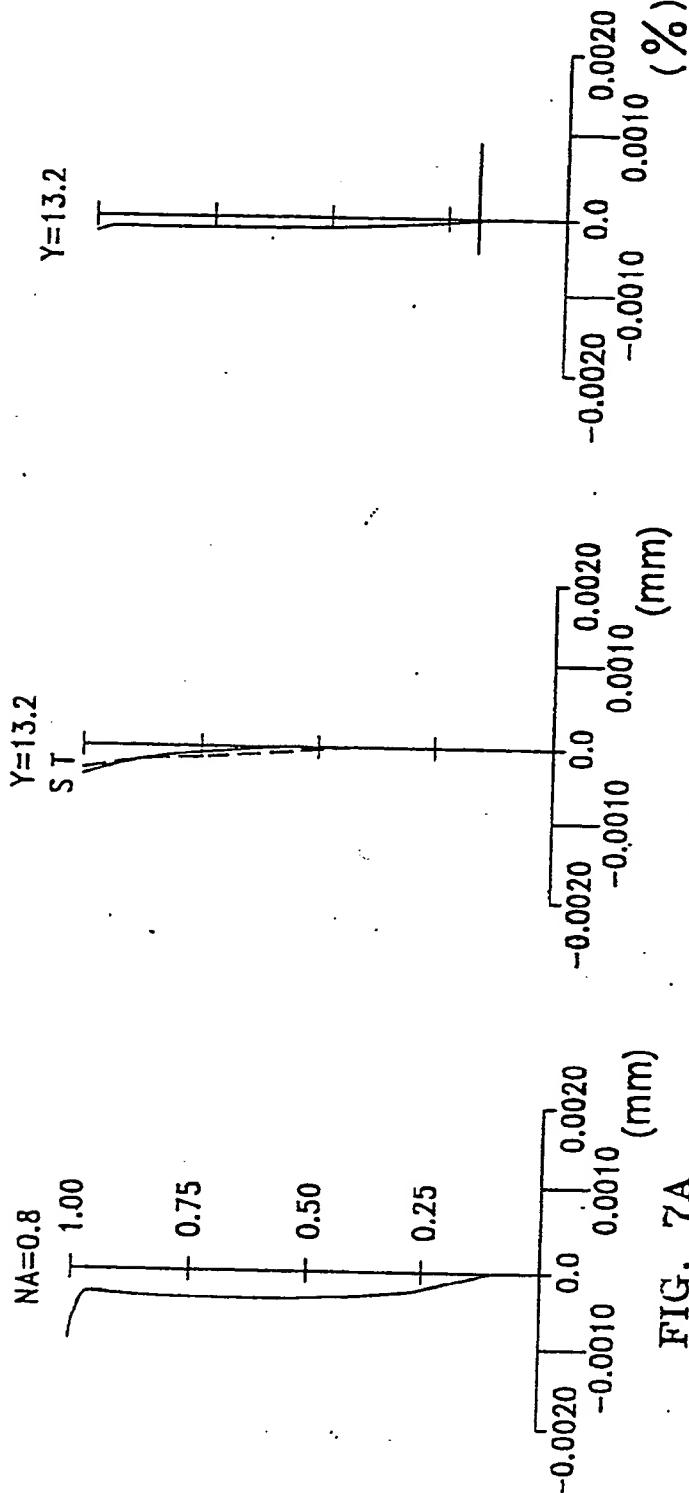
FIG. 7A  
FIG. 7B

FIG. 7C

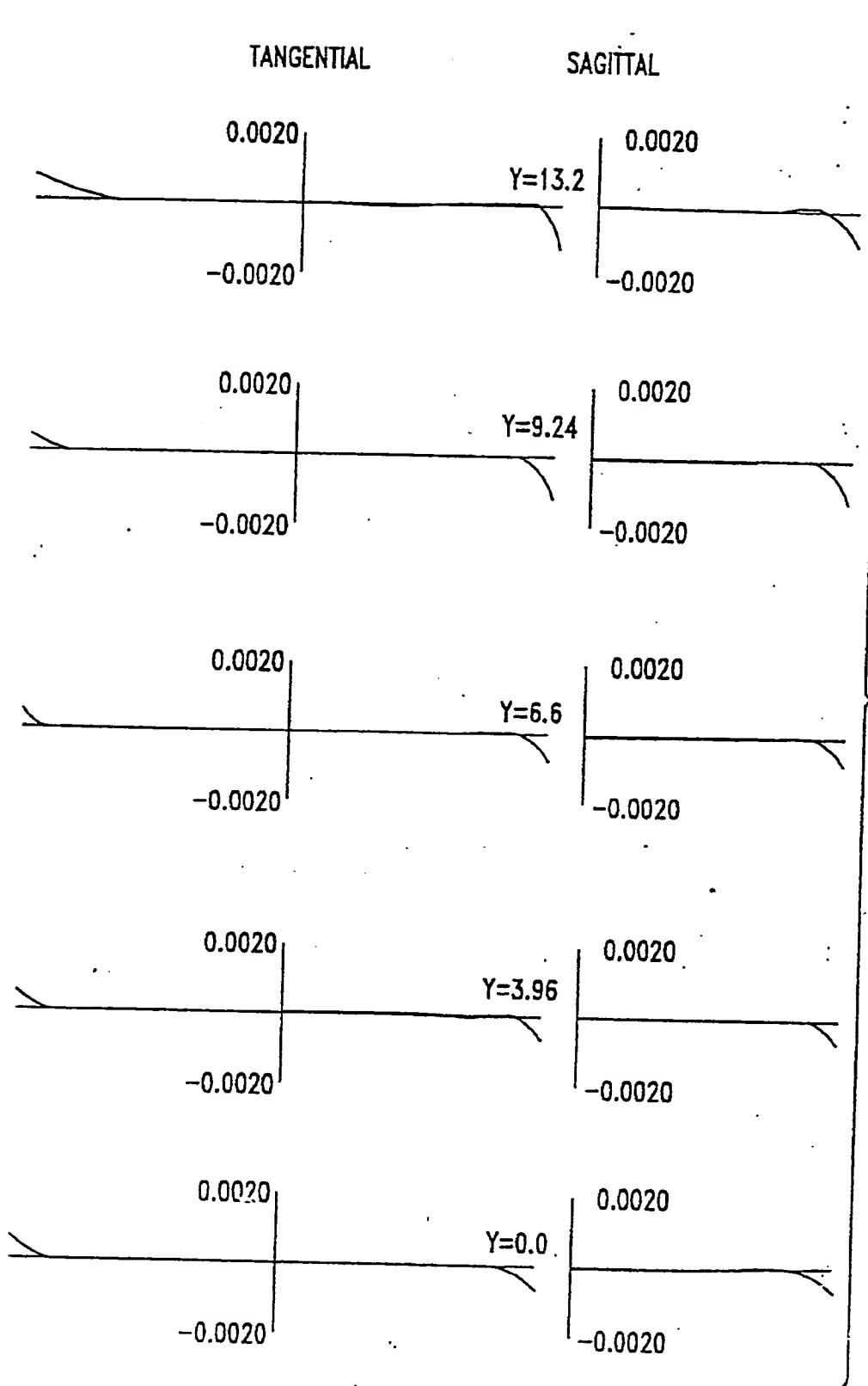


FIG. 7D

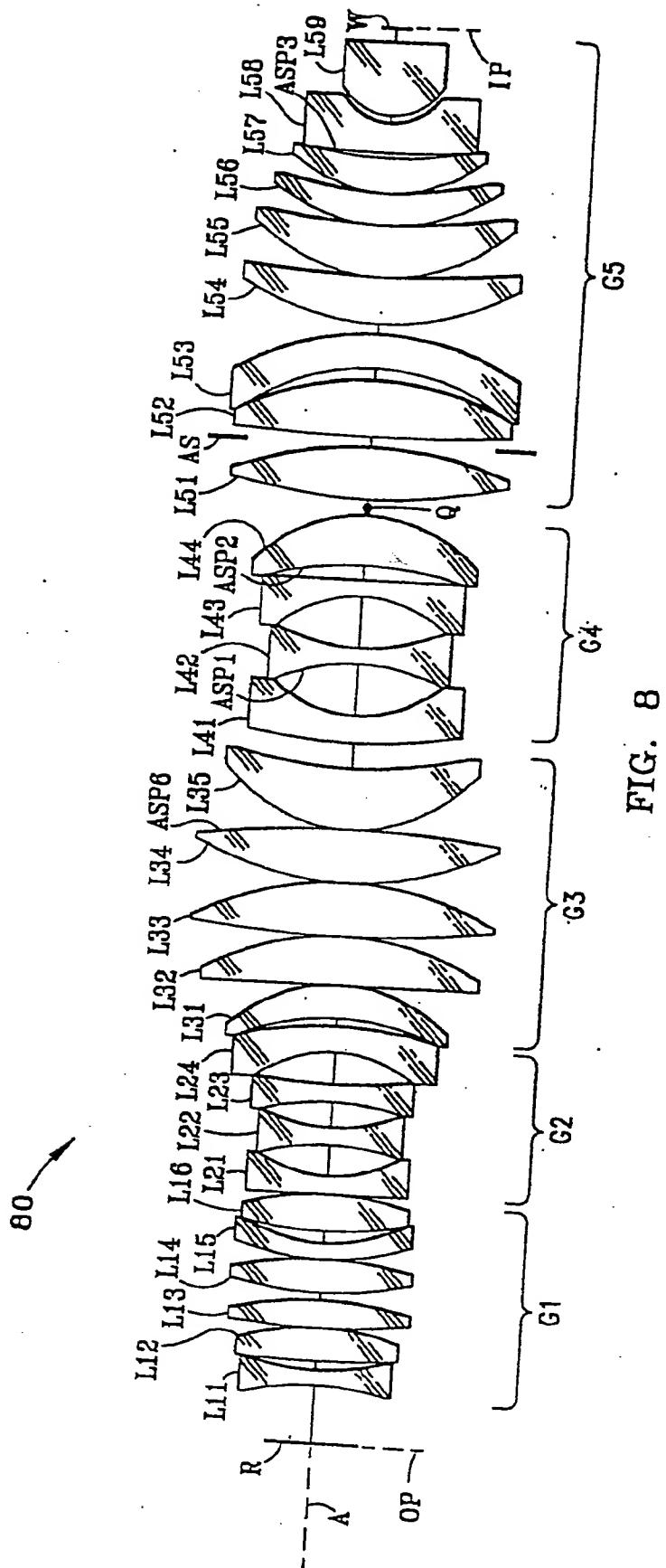


FIG. 8



FIG. 9A

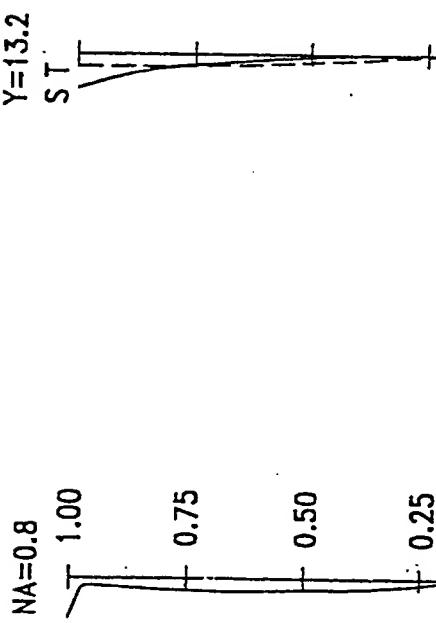


FIG. 9B

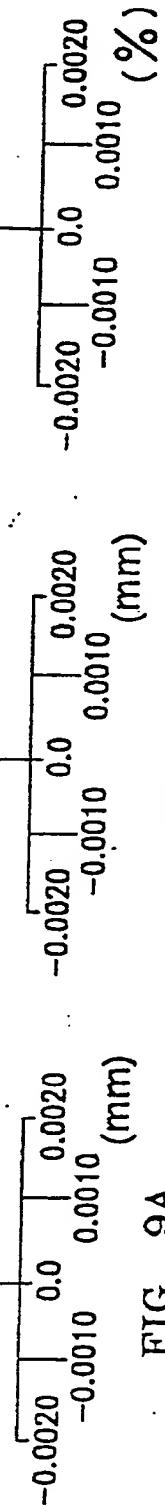


FIG. 9C

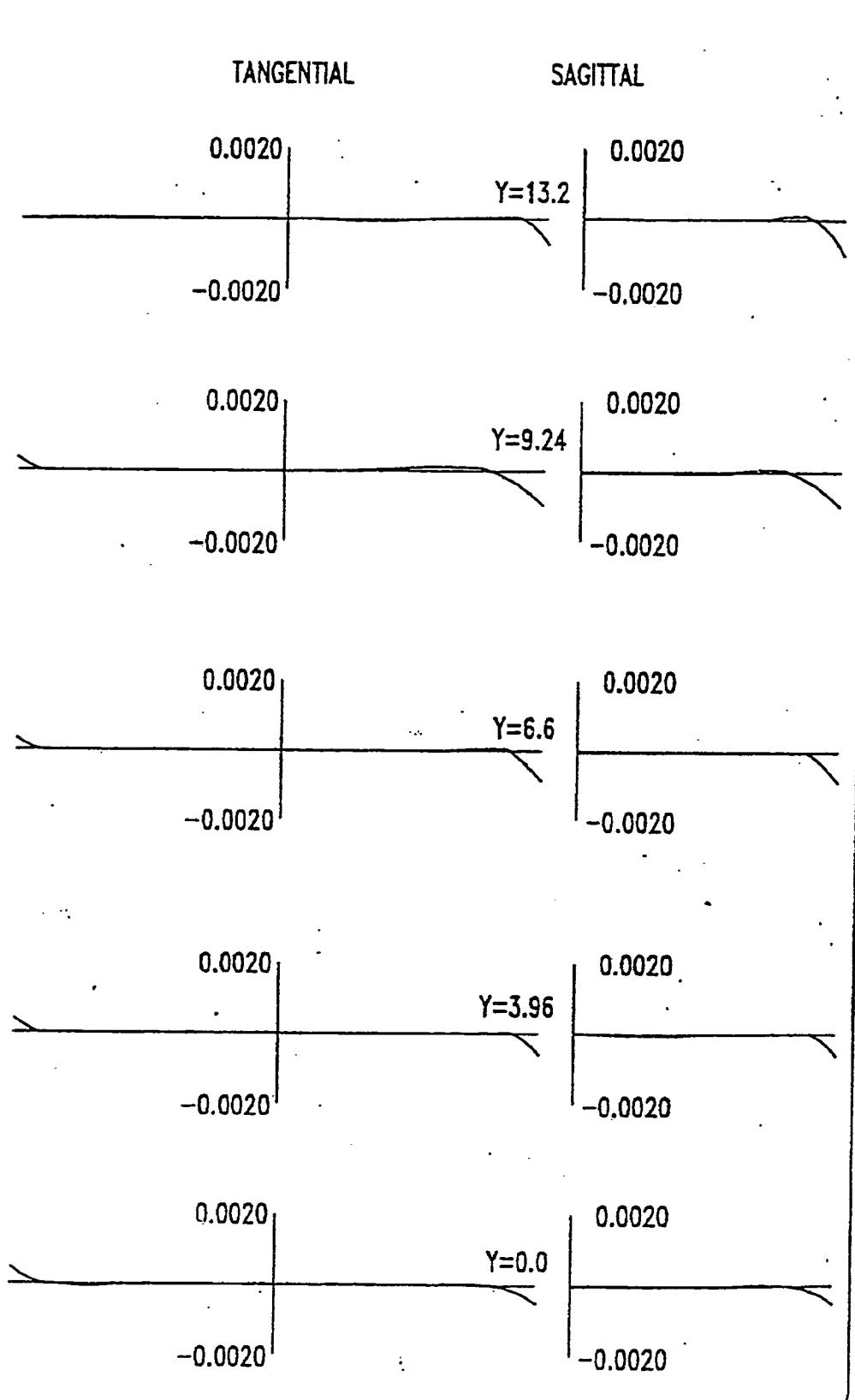


FIG. 9D

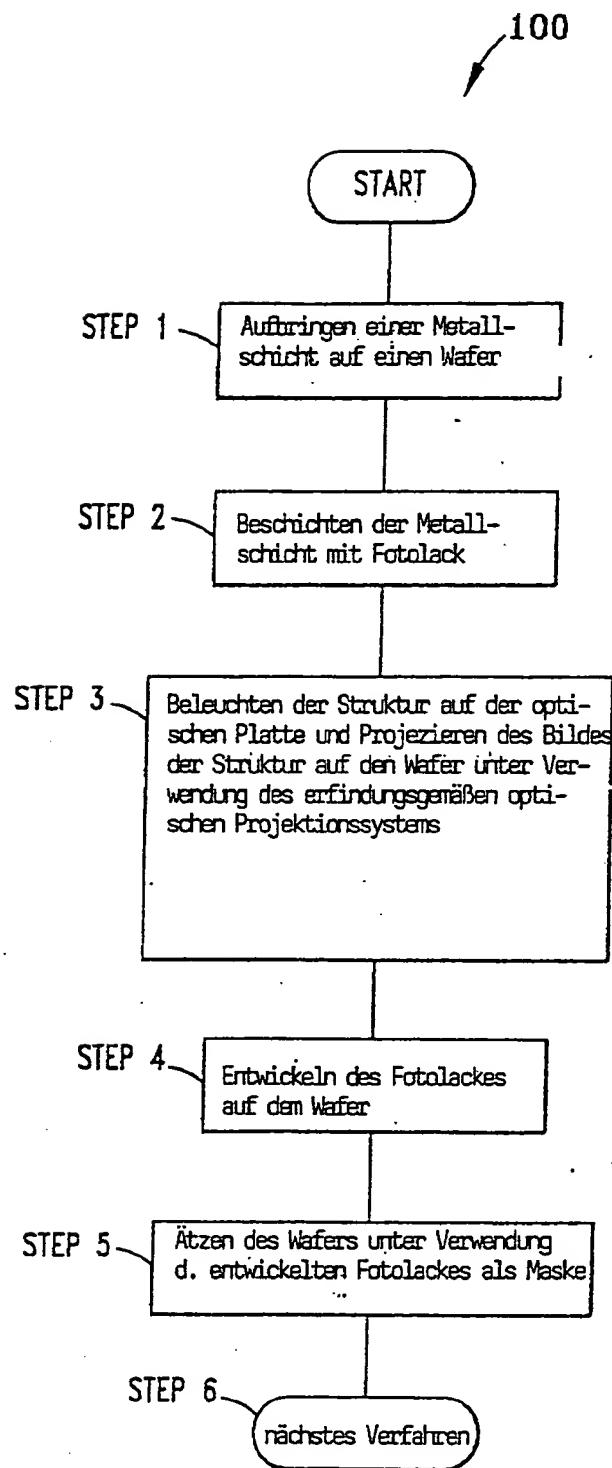


FIG. 10